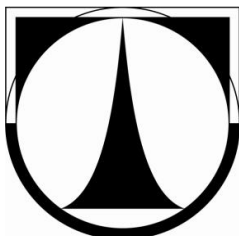


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Katedra hodnocení textilií



Studijní program: Průmyslový management

Studijní obor: Produktový management

OBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ ŽMOLKOVITOSTI S VYUŽITÍM OBRAZOVÉ ANALÝZY

OBJECTIVE EVALUATION OF FABRIC PILLING USING IMAGE ANALYSIS

KHT - 063

Autor diplomové práce: Bc. Aneta Malínková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Maroš Tunák, PhD.

Rozsah práce:

Počet stran: 83

Počet příloh: 2

Počet obrázků: 27

Počet tabulek: 12

Zadání diplomové práce
(vložit originál)

PROHLÁŠENÍ

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne 13. 5. 2011

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Marošovi Tunákovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, podnětné rady a cenné připomínky při zpracování této diplomové práce a také čas, který mi věnoval.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá objektivním hodnocením žmolkovitosti s využitím obrazové analýzy. Vybrané metody objektivního hodnocení žmolkovitosti jsou popsány v první části této práce. Problematika žmolkovitosti s úvodem do zpracování a analýzy obrazu jsou uvedeny v části teoretické. V experimentální části práce je navržena objektivní metoda hodnocení žmolkovitosti s využitím 2D DFT. Nalezením významných frekvenčních komponent pomocí globálního prahování je obraz rozložen na dvě části: obraz periodický obsahující texturu a obraz s náhodným šumem obsahující žmolky. Následně byla provedena operace mediánové filtrace pro odstranění zbytkové struktury a extrakce žmolků pomocí prahování. Z tohoto segmentovaného obrazu byly vypočteny charakteristiky žmolkovitosti, konkrétně počet žmolků, velikost žmolků, hustota a kontrast. Stupeň žmolkovitosti je určený pomocí rovnic lineární regrese. Výsledky objektivní metody jsou následně porovnány s výsledky subjektivního hodnocení. Součástí práce je navržené uživatelské prostředí k vytvořenému programu.

Klíčová slova:

Žmolkovitost, objektivní hodnocení, Fourierova transformace, obrazová analýza, mediánová filtrace, prahování.

ANNOTATION

This diploma thesis deals with an objective evaluation of fabric pilling using image analysis. Selected methods of objective evaluation of fabric pilling are described in the first part of work. Theoretical part of work contains fabric pilling overview and introduction to digital image analysis. Objective method of fabric pilling evaluation with the aid of 2D DFT is proposed in experimental part of work. Extraction of significant frequency components by global thresholding divided image into two parts: periodic image containing texture and image of random noise involved pills. Subsequently median filtering operation for removing of remaining texture and pill extraction by thresholding was performed. Characteristics as number of pills, size of pills, density and contrast of pills was calculated from such image. Grade of pilling is determined by using linear regression equations. Results from objective method are then compared with subjective method. Graphical user interface for objective evaluation of fabric pilling was created.

Keywords:

Pilling, Objective Evaluation, Fourier Transform, Image Analysis, Median Filtering, Thresholding.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

px	<i>Picture Element</i> , pixel, obrazový bod
dpi	<i>Dots Per Inch</i> , počet bodů na palec
$.jpg$	Obrazový formát
$f(x, y)$	Obrazová funkce
$g(x, y)$	Segmentovaný obraz
M	Počet řádků obrazové matice
N	Počet sloupců obrazové matice
r	<i>Row</i> - řádek matice
c	<i>Column</i> - sloupec matice
x, y, i, j	Souřadnice pixelů
D_o	Dostava osnovy
D_u	Dostava útku
RGB	Barevný obraz, <i>R</i> - red, <i>G</i> - green, <i>B</i> - blue
T	Úroveň prahu
FT	<i>Fourier Transform</i> - Fourierova transformace
$2D DFT$	<i>2 Dimensional Discrete Fourier Transform</i> - Dvojměrná diskretní Fourierova transformace
$2D DIFT$	<i>2 Dimensional Discrete Inverse Fourier Transform</i> - Dvojměrná diskretní inverzní Fourierova transformace
$F(u, v)$	Fourierovy koeficienty rozvoje
$R(u, v)$	Reálná složka $F(u, v)$
$I(u, v)$	Imaginární složka $F(u, v)$
$P(u, v)$	Výkonové spektrum
u, v	Frekvenční proměnné Fourierovy transformace
DC	<i>Direct Current</i> - komponenta Fourierovy transformace
n	Počet žmolků
S_i	Plocha žmolků
O_i	Obvod žmolků
D	Hustota žmolkovitosti
D_E	Euklidovská vzdálenost
r_i, x_i	Vzdálenosti žmolků

G	Kontrast
g_p	Průměrný kontrast žmolků
g_b	Průměrný kontrast okolí žmolků
\tilde{x}	Medián
σ	Směrodatná odchylka
Min	Minimální hodnota
Max	Maximální hodnota
y_{1-4}	Rovnice žmolkovitosti
Y	Výsledný stupeň žmolkovitosti
\bar{O}	Průměrný obvod žmolků
\bar{S}	Průměrná plocha žmolků
S_c	Celková plocha žmolků
S_p	Plocha žmolků v %
T_1	Úroveň prahu, filtrace Fourierova spektra
T_2	Úroveň prahu, segmentace obrazu

OBSAH

1	Úvod.....	11
2	Souhrn současného stavu	12
3	Žmolkovitost	16
3.1	Mechanismus tvorby žmolků.....	16
3.2	Vlivy působící na vznik žmolků	18
3.3	Snížení žmolkovitosti	20
3.4	Metody zjišťování a hodnocení žmolkovitosti	21
3.4.1	Přístroj Martindale	21
3.4.2	Komorový žmolkový přístroj	24
4	Digitální reprezentace obrazu	26
4.1	Typy digitálních obrazů	27
5	Obrazová analýza	29
5.1	Postup zpracování obrazu	29
6	Spektrální přístup	32
6.1	Dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace	32
7	Testovací sada vzorků	34
8	Subjektivní vyhodnocení žmolkovitosti tkanin pomocí fotografických etalonů	36
9	Metody hodnocení žmolkovitosti pomocí obrazové analýzy.....	38
9.1	Nasnímání obrazů tkanin	39
9.2	Postup zpracování obrazů tkanin	40
9.2.1	Zpracování a úprava obrazů tkanin.....	41
9.2.2	Jasové transformace	41
9.2.3	Detekce žmolků z povrchů tkaniny použitím 2D DFT	45
9.2.4	Filtrace obrazu	47

9.2.5 Extrakce žmolků	51
9.3 Charakteristiky žmolkovitosti.....	55
9.3.1 Počet žmolků.....	55
9.3.2 Velikost žmolků	56
9.3.3 Hustota žmolkovitosti	57
9.3.4 Kontrast.....	59
9.4 Vyhodnocení stupňů žmolkovitosti	60
9.5 Grafické uživatelské prostředí GUI	65
10 Objektivní vyhodnocení žmolkovitosti tkanin pomocí vytvořeného algoritmu	67
11 Závěr	79
Literatura.....	81
Seznam příloh	83

1 Úvod

Žmolkovitost je nežádoucí vlastnost, projevující se na povrchu textilií vznikem žmolků znehodnocující jejich původní vzhled, přijatelnost při výrobě oděvů nebo později samotný výrobek. Tento jev vzniká v důsledku oděru textilie při zpracovatelských nebo uživatelských činnostech. Je jedním z důležitých znaků při hodnocení vlastností a kvality textilií. Textilie, které mají optimální složení vlastností, lze považovat obecně za jakostní. V současnosti se hodnocení jakosti vzhledu textilií a konkrétně i v tomto případě žmolkovitosti snaží ubírat směrem objektivního hodnocení. Žmolky a celkově všechny vzhledové vady vyskytující se na povrchu textilií jsou pouze jen několik milimetrů velké a mohou být tak snadno přehlédnutelné. Hodnocení, při kterém člověk vyslovuje soud na základě subjektivního dojmu očním prozkoumáním textilie a v případě žmolkovitosti jejím vizuálním porovnáním, tak může být zkreslené a nepřesné. Snahou je, aby bylo vyhodnocení založeno na podložených objektivních charakteristikách. Toho může být dosaženo pomocí počítačového vidění, které napodobuje vidění lidské a následnou analýzou obrazu.

Hlavním cílem této práce je vytvořit algoritmus pro objektivní metodu hodnocení žmolkovitosti pomocí zpracování a analýzy obrazu. Vytvořený algoritmus bude testován na několika různých typech tkanin, lišící se svým materiálovým složením, vazbou, dostavou a barvou, zvláště pro textilie žmolkované na komorovém žmolkovacím přístroji a zvláště pro textilie zkoušené na přístroji Martindale. Obrazy budou nasnímány pomocí digitálního fotoaparátu a převedeny do počítače. Tyto obrazy je nutné pro využití obrazové analýzy následně předzpracovat. Samotné žmolky jsou detekovány z povrchu textilie díky změnám v nepravidelnosti povrchu a jejich odlišné struktuře. Z nalezených žmolků budou stanoveny charakteristiky a z nich určeny vztahy pro objektivní zařazení zkoušené textilie do jednotlivých stupňů žmolkovitosti.

Jednotlivé kroky zpracování obrazu a jejich výsledné vyhodnocení jsou v práci prováděny v programovém prostředí Matlab s pomocí Image Processing Toolboxu, který nabízí širokou škálu již zavedených funkcí. Pro jednodušší ovládání programu bude pomocí nástroje GUIDE v Matlabu vytvořeno uživatelské prostředí. V závěru práce budou porovnány získané výsledky a účinnost metody s výsledky subjektivního hodnocení žmolkovitosti porovnáním s fotografickými etalony.

2 Souhrn současného stavu

K hodnocení žmolkovitosti tkanin, pletenin a dalších textilních útvarů je v současnosti stále využíváno především subjektivního hodnocení. Schopnost textilie se žmolkovat se určuje z popisu a porovnává na základě vizuálního srovnání žmolkované plošné textilie s fotografickými etalony, podle kterých se následně zařadí do některých ze stupňů žmolkovitosti, jak je uvedeno v kapitole 3.4. Dalším ze způsobů jak hodnotit žmolkovitost textilií je pomocí obrazové analýzy, která představuje možnost pro objektivní hodnocení. V posledních letech se vývojem metod pro objektivní hodnocení žmolkovitosti s využitím obrazové analýzy zabývalo několik autorů ve svých studiích. Stručný popis jednotlivých metod je uveden v následujícím textu.

Autoři práce [1] ve své studii použili metodu založenou na identifikaci žmolků z povrchu textilie porovnáním obrazů se šablonou vytvořenou pomocí dvourozměrné Gaussovy funkce. Pro experiment bylo použito 45 vzorků vlněné pletené textilie, které byly postupně podrobeny oděru na žmolkovacím stroji pro dosažení různých stupňů žmolkovitosti. Z nasnímaného digitálního obrazu o velikosti 512×512 pixelů bylo vyříznuto šest obrazů žmolků, z kterých byly prostřednictvím přizpůsobené Gaussovy funkce pro každý žmolek odhadnuty Gaussovy parametry použitím metody nejmenších čtverců. Na základě těchto odhadnutých parametrů Gaussovy funkce byla vytvořena šablona žmolkovitosti, která je klíčovým krokem pro identifikaci žmolků na povrchu textilie. Vytvořená šablona je dvourozměrnou konvolucí porovnávána s obrazem textilie. Šablona přechází přes celý obraz a na základě podobnosti detekuje jednotlivé žmolky. Následně jsou z upraveného obrazu žmolky odděleny od pozadí převedením na binární obraz vypočtením vhodného prahu. V této fázi jsou pak různými technikami analýzy obrazu měřeny charakteristiky žmolkovitosti, konkrétně počet žmolků, velikost žmolků, hustota a kontrast. Výsledky objektivního hodnocení jsou v práci porovnávány s metodou subjektivní. Pro toto porovnání a pro výsledné vyhodnocení bylo podle normy vybráno pět vzorků s různým stupněm žmolkovitosti (od 1 do 5). Z nich byly vypočteny charakteristiky žmolkovitosti, z kterých jsou použitím metody lineární regrese stanoveny vztahy mezi jednotlivými stupni žmolkovitosti a objektivními parametry žmolkovitosti. Pro zjištění účinnosti objektivního hodnocení jsou srovnávány stupně určené podle výpočtových vztahů se stupni určených subjektivně u zbylých 40

naměřených vzorků. Tato metoda je vhodná pouze pro jednobarevné nevzorované textilie, pro které byla šablona vytvořena.

Objektivním hodnocením žmolkovitosti pomocí vlnkové analýzy textury se zabývali autoři práce [2]. Základní myšlenka metody vyhodnocení žmolkovitosti je založená na dvourozměrné diskrétní vlnkové transformaci na koeficientech detailu vlnky na všech úrovních rozkladu obrazu, v horizontálním, vertikálním a diagonálním směru, které tak dovolují úplnější reprezentaci obrazu. Pomocí vlnkové transformace jsou v signálu rozlišovány jednotlivé složky, z kterých je signál složen. Je založena na porovnání resp. konvoluci analyzovaného signálu s vzorovým tvarem neboli tzv. vlnkou. Autoři popisují v práci blíže základní teorii vlnkové analýzy a dále jak vybrat právě správný typ vlnky a stupnici rozkladu na základě analyzovaných obrazů, na kterých je úspěšnost této metody hodnocení žmolkovitosti závislá. V práci byl každý obraz textilie rozložen na 7 stupnic rozkladu a tedy 21 pod - obrazů použitím vlnkové funkce. Pro klasifikaci vzorků do pěti stupňů a pro reprezentativní popis každého stupně je v práci použito diskriminační analýzy a analýzy hlavních komponent. K posouzení funkčnosti a účinnosti této metody autoři použili obrazy tkaných, netkaných a pletených textilií.

Vlnková transformace je využívána v řadě oblastí a oborech. Ve zpracování a analýze obrazu je to především k jeho charakterizaci, potlačení rušivých složek, extrakci příznaků a následnou klasifikaci. Mezi další autory, kteří se ve svých studiích zabývali segmentací žmolků z obrazů a jejich objektivním hodnocením s využitím vlnkové transformace, patří autoři článku [3].

Autoři práce [4] popisují pomocí digitálního zpracování obrazu způsob detekce žmolků a jejich vyhodnocení vytvořením 3D modelu povrchu textilie z 2D obrazu. Ten umožňuje kromě měření plochy měření dalších dvou kritérií a to výšky a objemu žmolků. Pro měření byla použita tkanina ze 100 % bavlny, která byla podle příslušné normy odírána na žmolkovacím stroji Martindale. Tyto textilie byly naskenovány s rozlišením 600 *dpi* a použity jako vstupní obrazy pro program k detekci žmolků z jejich povrchu. Aby bylo možné charakterizovat parametry žmolků, byly obrazy dále předzpracovány. Ke snížení šumu v obraze autoři použili Wienerův filtr. Následně byla provedena detekce žmolků založená na detekci hran, konkrétně použitím Harrisova

detektoru hran. Zjištěné hrany znázorňují přechody resp. křížení osnovních a útkových nití. Když se rozvlákněná vlákna na povrchu textilie splétají a vytváří se postupně jednotlivé žmolky, dojde k vizuálnímu narušení struktury přechodů a žmolky a jiné nerovnosti mohou být detekovány. Po použití detektoru hran byly histogramem vyrovnány hodnoty rozsahu šedi a určeny vhodné prahové hodnoty k oddělení žmolků od pozadí. Výsledkem je matice, jejíž prvky mají nulovou hodnotu v oblastech bez vady a hodnotu 1 v místě poškození textilie žmolkem. Tato matice je vynásobená originálním obrazem a výsledkem je matice s nulovou hodnotou v oblasti bez žmolků a původní hodnotou z obrazu textilie v oblasti s vadou. Tato konečná matice je klíčem k 3D modelování povrchu textile a simulaci žmolků. V simulovaném obrazu jsou zobrazeny žmolky získané z povrchu tkaniny, které umožňují měřit jejich plochu, výšku a objem.

Metody rychlé Fourierovy transformace 2D DFT a dalších postupů k odstranění obrazových vad pro charakterizaci a hodnocení žmolkovitosti popisují autoři práce [5]. Vznik žmolků na povrchu textilie je často doprovázen dalšími povrchovými jevy jako je např. změna barvy nebo rozvláknění povrchu. Obraz textilie tak může obsahovat řadu obrazových vad jako je nejednotné pozadí, různý kontrast nebo stíny v důsledku nerovnoměrného osvětlení, které je nutné minimalizovat předzpracováním obrazu. Autoři zmiňují např. vyrovnání hodnot rozsahu hodnot šedi vyrovnáním histogramu a Fourierovy filtrace pro eliminaci stínů. Technika FT představuje efektivní způsob jak oddělit žmolky od pozadí resp. vazby textilie. Výrazné vrcholy ve frekvenčním spektru představují frekvence periodické struktury znázorňující vazbu tkaniny. Neperiodická struktura je tvořena žmolky spolu s nežádoucím obrazovým šumem. Tyto obrazy tkaniny byly vytvořeny pomocí zpětné inverzní Fourierovy transformace 2D DIFT. Z takto rekonstruovaného obrazu žmolků jsou segmentací obrazu prahováním a pomocí technik analýzy obrazu dále extrahovány a vyhodnoceny jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti.

Výše zmíněné studie se zabývaly objektivním hodnocení žmolkovitosti pomocí 2D metod zobrazování obrazu. Autoři studií [6], [7] využily pro objektivní hodnocení žmolkovitosti 3D zobrazovací techniky.

Ramgulam et al. [6], použil k získání obrazu žmolkovitosti a dat z povrchu textilie laserové sondy, která měří variaci výšky povrchu textilie. Toto skenování

laserovým paprskem poskytuje obrazy textilií s třírozměrným profilem povrchů. Ve srovnání s metodou pořízení obrazu např. fotoaparátem je tento způsob získávání dat časově mnohem pomalejší, což je jeho nevýhodou. Na druhou stranu je ale možné tímto způsobem zachytit kompletní profil žmolků, který není téměř možné u 2D obrazu získat.

Stejně jako v předcházející studii i autoři práce [7] použili k hodnocení povrchu textilie laserového skeneru. Použitím metody skenování byla vytvořena 3D replika povrchu tkaniny z množiny bodů v trojrozměrném souřadnicovém systému, z které je možné následně odhadnout tvar žmolků a další jejich charakteristiky. K naskenování povrchu autoři použili 10 vzorků bavlněných textilií různých vazeb, které byly podrobeny zkouškám žmolkovitosti podle normy na žmolkovacím přístroji Martindale. Naskenovaná data byla následně převedena do programového prostředí Matlab a pomocí vhodného algoritmu byly vyhodnoceny jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti pro každý stupeň žmolkovitosti. Počet žmolků na jednotku plochy, objem a výška žmolků. Využitím těchto metod se dá vyhnout případným problémům při identifikaci žmolků na vzorovaných textiliích.

Metodu objektivního hodnocení žmolkovitosti na pletených textiliích pomocí barevných digitálních obrazů se zabývala autorka ve své práci [8]. Obraz žmolkované textilie byl zachycen v režimu RGB, který se skládá ze tří kanálů základních barev. Tyto kanály byly prezentovány ve formě samostatných obrazů, v hodnotách jasu 0 - 255, pro odlišení důležitých objektů tvorby žmolků na povrchu textilie. Na základě subjektivního dojmu operátora byl vybrán nejvhodnější obraz pro daný vzorek vytvořený prolnutím těchto kanálů a určením jejich pořadí, které je závislé od podmínek osvětlení, barvy a struktury povrchu a na intenzitě vytvořených žmolků. Posledním provedeným krokem zpracování obrazu byla segmentace obrazu prahováním, z kterého byly následně měřeny jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti určující její stupeň.

3 Žmolkovitost

Žmolkovitost je negativní vlastnost, která má za následek tvorbu žmolků, které ulpívají na povrchu textilií a způsobují tak její nevzhledný povrch. Jejich hustota neumožňuje proniknutí světla a vrhají stín. Sklon ke vzniku žmolků, spleti několika vláken, zaoblených třením tak, že je nelze rozdělit jednoduchým pohybem preparační jehly, se projevuje spíše u syntetických vláken a jejich směsí s vlákny přírodními. To je částečně způsobeno vysokou odolností v ohybu a krutu a vysokou pevností a pružností syntetických vláken. Ty brání odpadnutí vzniklých žmolků, jako je tomu u vláken z přírodních materiálů, kde ve srovnání se syntetickými materiály je jejich pevnost značně nižší. Žmolkovitost se projevuje u všech textilií z chemických i přírodních vláken a je ovlivňována řadou vlastností a působících vlivů [13].

3.1 Mechanismus tvorby žmolků

Mechanismus tvorby žmolků je poměrně složitý a zdlouhavý proces, ke kterému dochází při namáhání příze, vláken a textilií vlivem vzájemného tření a ohybem vláken. Jde o dynamický proces spojující dva hlavní jevy. Rozvláknění povrchu textilie a tvorbu žmolků na stejném povrchu textilie. Nejčastěji se tak děje při běžném užívání, praní nebo chemickém čištění.

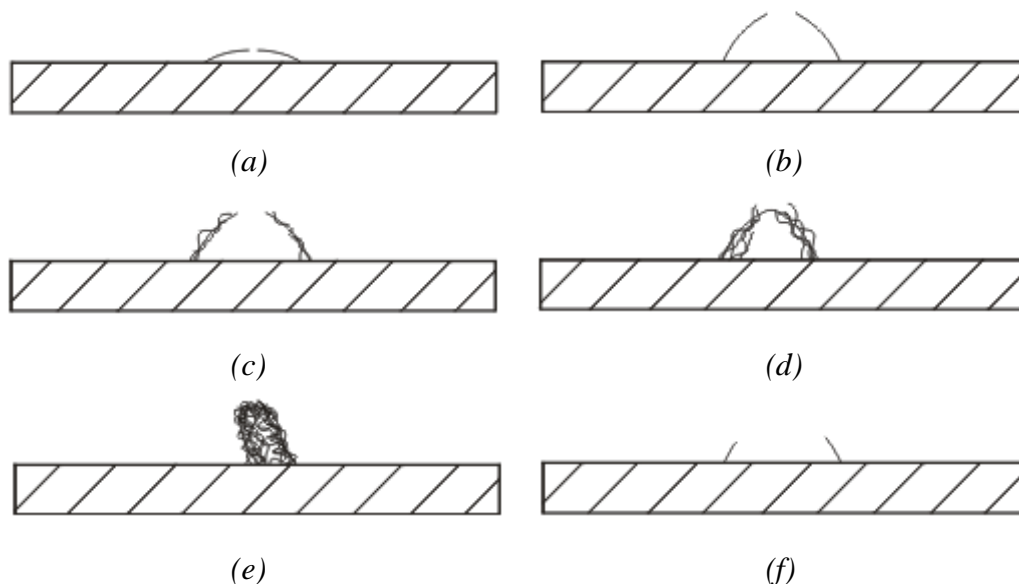
Volná vlákna, která jsou v přízi upevněna pouze malou délkou, se postupným namáháním uvolňují do vnější části příze a na povrchu textilie vzniká tzv. rozvláknění. Jemná vlákna vyčnívají z povrchu textilie a jejich druhý konec zůstává částečně fixovaný v přízi. Takto odstávající vlákna se postupně vlivem odírání textilie o textilií nebo jiný povrch, v důsledku vzájemného pohybu, stáčí a přibírají k sobě další vlákna. Kromě vláken se na tvorbě žmolků podílejí i různé okolní nečistoty, které se spolu s vlákny postupně shlukují a vzniká tak spleť těchto vláken a nečistot. Dochází k tvorbě žmolků, jejich nárůstu a postupné stabilizaci povrchu textilie, kdy se velikost stávajících žmolků nezvětšuje a nedochází již ani k tvorbě nových žmolků, jejich růst je zastaven. S ohledem k vlastnostem vláken v místech zvýšeného mechanického namáhání žmolky odpadnou, nebo ulpívají na povrchu textilie.

Cooke ve své práci [1] rozděluje proces tvorby žmolků vznikajících na povrchu textilie do čtyř hlavních fází:

1. fáze - vznik rozvláknění povrchu textilie,
2. fáze - zaplétání vláken,
3. fáze - vytváření a růst žmolků na povrchu textilie,
4. fáze - odpadnutí žmolků.

Podrobnější rozdělení popisuje ve své práci [9] Staněk, který uvádí rozdělení žmolkovitosti do šesti hlavních fází zobrazených na obrázku 1(a) - (f):

1. fáze - počátek vytahování vláken na povrch, vznik rozvláknění,
2. fáze - intenzivnější rozvláknění povrchu textilie,
3. fáze - vznik nahromadění vláken a lehké zaplétání,
4. fáze - zaplétání vláken,
5. fáze - vytvoření žmolků,
6. fáze - odpadnutí žmolků v důsledku mechanického působení.



Obr. 1. Fáze žmolkování, a) 1. fáze, b) 2. fáze, c) 3. fáze, d) 4. fáze, e) 5. fáze, f) 6. fáze.

3.2 Vlivy působící na vznik žmolků

Vliv tvorby žmolků na povrchu textilie se vztahuje k fyzikálním vlastnostem přízí, vláken a samotných textilií a také k vlastnostem technickým. Mezi hlavní vlastnosti ovlivňující žmolkovitost patří: tření, pevnost, pružnost a odolnost v ohybu, tvar průřezu vláken, délka a jemnost, obloučkovitost, zákrut příze, konstrukce textilie, elektrostatické vlastnosti, měkkost, tažnost, odolnost v oděru a konečné úpravy textilií. Vybrané vlastnosti ovlivňující vznik žmolků jsou popsány níže [9].

Tření

Tření mezi vlákny je nezbytné pro zajištění soudržnosti vláken v přízi a zabraňuje částečně uvolňování vláken na povrch textilie, což má za následek snížení žmolkovitosti. Na druhé straně, příliš vysoké tření při odírání textilie běžným užíváním, může být příčinou porušení povrchu. Jestliže je pevnost vlákna menší než působící třecí síla, dojde k přetržení vlákna a migraci volných konců vlákna na povrch, které jsou počáteční fází při vzniku žmolků. Velikost třecích sil má také vliv na odpadnutí žmolků z povrchu vlákenného útvaru.

Pevnost, pružnost

Vysoká pevnost a pružnost brání odpadnutí žmolků z povrchu textilií. Zároveň se i se snižující pevností a pružností snižuje odolnost v ohybu a odolnost v oděru. Žmolkovitost se téměř vždy snižuje na úkor pevnosti.

Odolnost v ohybu

U vláken, která mají odolnost v ohybu a v krutu nižší, dochází k dřívějšímu odpadnutí žmolků v důsledku jejich namáhání. Jsou to především vlákna křehká, jako je bavlna, len apod. Vlákna, která vykazují vysokou odolnost v ohybu a krutu vytvářejí žmolky velmi trvanlivé a napomáhají tak k udržování žmolků na povrchu textilií. To se týká vláken s vysokou tuhostí, jako jsou vlákna polyesterová nebo polyamidová.

Tvar průřezu vláken

Žmolkovitost vláken podle tvaru průřezu je spojena s již popsaným třením. Hladká vlákna, kruhovitého průřezu vlivem nižšího koeficientu tření mají větší tendence migrovat na povrch textilie a mají tak větší sklon ke tvorbě žmolků na rozdíl od vláken

s nekuhovým průřezem, vláken profilovaných, která mají sklon k žmolkovitosti nižší, což je zapříčiněno vyšším koeficientem tření.

Délka a jemnost vláken

Kratší vlákna se dostávají snáz na povrch textilie a vážou na sebe další uvolněná vlákna, která jsou ve srovnání s dlouhými vlákny upevněny v přízi menšími silami.

Zákrut příze

Se zvyšujícím se počtem zákrutů se také zvyšuje i stejnoměrnost příze. Při procesu předení a skaní se jednotlivá vlákna navzájem upevní a sníží se tak počet vystupujících vláken, které mají vyšší sklon k žmolkovitosti. Kromě zvýšení stejnoměrnosti, která přispívá k omezení žmolkovitosti má stoupající počet zákrutů vliv i na zvýšení pevnosti příze, která naopak žmolkovitost podporuje.

Konstrukce textilií

Jeden z nejdůležitějších parametrů, který má vliv na žmolkovitost je konstrukce textilií. Velmi těsné a hustě provázané textilie s vysokým počtem vazných bodů a hustou dostavou mají nízký nebo téměř žádný sklon k vzniku žmolků na povrchu textilie. Jejich konstrukce zabraňuje vláknům v jejich migraci. Naopak volné, řidší textilie, pletené nebo tkané mají vysokou tendenci k rozvláknění povrchu a tak k následné tvorbě žmolků.

Elektrostatické vlastnosti

Většina textilních materiálů patří mezi elektrické izolátory. Působením vnějších vlivů, třením apod., může docházet ke vzniku elektrostatického náboje, který nevodivé materiály nejsou schopny odvádět. Materiály tak mohou prostřednictvím svých elektrostatických vlastností přitahovat okolní věci a nečistoty z prostředí, které pak následně mohou sloužit jako jádro pro vznik žmolků.

3.3 Snížení žmolkovitosti

Jak již bylo popsáno, žmolkovitost je nežádoucí vlastnost na kterou má vliv celá řada působících vlivů. Cílem je tuto vlastnost co nejvíce eliminovat a potlačit tak vznik nevzhledných žmolků na povrchu textilie s ohledem k ostatním vlastnostem. Žmolkovitost je možné snižovat některým z blíže uvedených způsobů. Chemickou nebo fyzikální modifikací, technologickými spojovacími procesy popřípadě finálními úpravami.

Chemickou modifikací, modifikací v průběhu přípravy polymeru, konkrétně pak jeho změnou relativní hmotnosti molekul, je prvním ze způsobů omezení žmolkovitosti. Upravením doby a podmínek polykondenzace (teploty a tlaku) dojde k nepatrnému snížení pevnosti vláken a k velmi značnému poklesu odolnosti v ohybu. Žmolky tak ztratí tendenci lpět na povrchu textilie po dlouhou dobu.

Fyzikální modifikací, modifikací v průběhu přípravy vláken, snížíme žmolkovitost v důsledku úprav podmínek zvlákňování, dloužení a fixace. Další z možností je také úprava profilu vláken, neboli výroba vláken s nekruhovým průřezem, tzv. profilovaných vláken pomocí trysek různých typů [10].

Technologickými procesy spojování, jako je předení, tkaní a pletení, konkrétně pak vhodnou konstrukcí příze a plošných útvarů je dalším ze způsobů k potlačení žmolkovitosti.

Finální úpravy jsou posledním ze způsobů jak omezit vznik žmolků. Vzhledové mechanické úpravy, jako je postříhování, kartáčování, broušení a požehování odstraní z povrchu textilie vyčnívající vlákna, která jsou počátkem žmolků. Stabilizačními úpravami dojde k zafixování polohy vláken v textilií a migraci vláken na povrch. Nejúčinnější a stále nejpoužívanější stabilizační úpravou je stabilizace polohy vláken založená na aplikaci filmotvorných přípravků, které svými pojivými účinky vlákna stabilizují. Méně pak i stabilizace termickým zpracováním [11].

3.4 Metody zjišťování a hodnocení žmolkovitosti

Metody zjišťující schopnost textilií se žmolkovat můžeme zařadit do metod tzv. simulačních, které napodobují skutečné podmínky tvorby žmolků pro hodnocení textilií. Běžné opotřebení oděvu může trvat poměrně dlouho, než dojde ke vzniku žmolků, proto existuje řada zkušebních přístrojů, které simulují běžné opotřebení. Nejčastějším způsobem zjišťování odolnosti plošných textilií vůči žmolkování je na přístroji Martindale. Další používanou metodou je pak zjišťování odolnosti na komorovém žmolkovacím přístroji. U textilií je žmolkovitost běžně posuzována na základě vzhledu textilního vzorku podle popisu jednotlivých stupňů žmolkovitosti, na kombinaci dojmů z několika parametrů žmolkovitosti jako je např. dojem z hustoty žmolků, celkové plochy žmolků apod., skupinou hodnotitelů. Pro správnost popisné metody je spolu s předcházejícím způsobem využíváno fotografických etalonů. Testování odolnosti žmolkovitosti textilií na přístroji Martindale a komorovém žmolkovacím přístroji je podmíněno normami ČSN EN ISO 12945-2 a ČSN 80 0838.

3.4.1 Přístroj Martindale

Nejčastějším způsobem hodnocení žmolkovitosti v současné době je hodnocení na modifikovaném přístroji Martindale zobrazeném na obrázku 2, na kterém se provádí mimo zkoušek žmolkovitosti také zkoušky oděru.

Přístroj Martindale je složen ze základní desky, na které jsou umístěny žmolkovací stoly a pohonný mechanismus. Počet žmolkovacích stolů je různý, podle typu provedení žmolkovacího přístroje. Dále se skládá z vodící desky držáků, která sleduje díky pohonnému mechanismu Lissajousův obrazec. Na vodící desce jsou umístěny tři vodící drážky pro hnací čepy pohonných jednotek, tělesa ložisek držáků vzorků a samotná ložiska. K upevnění zkušebních materiálů slouží žmolkovací stoly a držáky vzorků. Zkušební vzorky k upevnění na žmolkovací stoly mají kruhový tvar s průměrem 140 mm. Na žmolkovací stůl se nejprve umístí podložka z plsti, která má tvar a rozměry stejné se zkušebním materiálem, na kterou se následně položí spodní zkušební vzorek popř. vlněná odírací textilie lícem nahoru. Takto uspořádané textilie se zatíží zatěžovacím závažím a zajistí pomocí upevňovacího rámečku. K upevnění zkušebních materiálů do držáků vzorků mohou mít materiály tvar a rozměry stejné jako

u upnutí na žmolkovací stoly nebo mohou mít tvar čtverce o délce jeho strany 150 mm. Držáky vzorků jsou sestaveny z čepů držáků vzorků, které jsou uloženy v tělesech ložisek upevněny centrálně k vodící desce ke každému žmolkovacímu stolu, z těles držáků vzorků, vložek držáků vzorků z plsti o průměru 90 mm, ze zatěžovacích ocelových závaží ve tvaru kotouče, které jsou ukládány na držáky vzorků pro každé pracovní místo a z upínacích kroužků držáků vzorků. K upnutí vzorku materiálu do držáku vzorků se používá pomocný přípravek pro upnutí materiálu. Na pomocný přípravek pro upnutí materiálu se nasadí upínací kroužek držáku vzorků a do jeho prohloubeného místa se vloží zkušební vzorek materiálu lícem do prohlubně tělesa a na něj vložka z plsti. Na vložku z plsti je položen držák vzorku spolu se závažím a upínací kroužek je přetáhnutý přes pomocné upínací těleso a zapadne tak do drážky držáku vzorků. Další z částí stroje, která je umístěna na povrchu základní desky, je dotykový displej s nastavitelným počítadlem zaznamenávající jednotlivé otáčky při probíhající zkoušce s přesností na jednu otáčku. Kromě něj je na přístroji umístěn také nouzový vypínač a pracovní plocha na přípravu vzorků.



Obr. 2. Přístroj Martindale.

Podstata zkoušky na přístroji Martindale spočívá v pohybu sledující Lissajosův obrazec kruhového zkušebního vzorku při stanoveném zatížení po třecí ploše, tvořené ze stejného zkušebního materiálu nebo vlněné oděrací textilie. Zkouška se provádí do doby dosažení prvního stádia hodnocení podle kategorií pro různé druhy textilií, jak je uvedeno v tabulce 2, kterou udává norma. Bez očištění povrchu dojde k vyhodnocení

stupně žmolkovitosti a rozvláknění povrchu textilie. Podle počtu stádií se ve zkoušce pokračuje, dokud není dosaženo posledního stádia. Hodnocení probíhá vždy po dokončení jednotlivých stádií skupinou hodnotitelů a je vizuálně ohodnoceno stupněm popř. mezistupněm žmolkovitosti podle tabulky 1 s pomocí fotografických etalonů zobrazených na obrázku 4(a). Výsledkem je průměrná hodnota ze stupňů žmolkovitosti udělených jednotlivými hodnotiteli zkušebními vzorkům [13].

Tab. 1. Stupně hodnocení žmolkovitosti na přístroji Martindale [13].

Stupeň	Slovní popis povrchové změny
5	Bez změn.
4	Lehké rozvláknění povrchu/ počátek tvorby žmolků
3	Mírné rozvláknění povrchu / mírné žmolkování. Žmolky různé velikosti a hustoty pokrývají částečně povrch vzorku.
2	Výrazné rozvláknění povrchu/ výrazné žmolkování. Žmolky různé velikosti a hustoty pokrývají značnou část povrchu vzorku.
1	Husté rozvláknění povrchu/ silné žmolkování. Žmolky různé velikosti a hustoty pokrývají celý povrch vzorku.

Tab. 2. Kategorie pro zkoušku žmolkovitosti na přístroji Martindale [13].

Kategorie	Druh textilie	Oděrací prostředek	Zatěžovací závaží [g]	Stádium hodnocení	Počet otáček
1	Potahovaná textilie	Vlněná oděrací textilie	415±2	1	500
				2	1000
				3	2000
				4	5000
2	Tkaniny s výjimkou potahovaných	Zkoušená tkanina (líc/ líc) nebo vlněná tkanina	415±2	1	125
				2	500
				3	1000
				4	2000
				5	5000
				6	7000
3	Pleteniny s výjimkou potahovaných	Zkoušená pletenina (líc/ líc) nebo vlněná tkanina	155±1	1	125
				2	500
				3	1000
				4	2000
				5	5000
				6	7000

3.4.2 Komorový žmolkovací přístroj

Komorový žmolkovací přístroj, zobrazený na obrázku 3(a), (b), se skládá ze zkušebních komor, které se mohou podle provedení u jednotlivých strojů lišit svým počtem. Průměr komory je 146 mm a její hloubka 152 mm. V každé komoře jsou umístěny dvě lopatky o délce 120 mm, které vykonávají 1200 otáček za minutu. Princip komorového žmolkovacího přístroje je založen na náhodném oděru textilie o textilií a povrch komory, která je vyložena korkovým obložením. Do jednotlivých komor jsou vkládány po obvodu obnitkované tři vzorky stejné textilie o rozměrech 110 × 110 mm tak, aby osnova ležela ve směru úhlopříčky vzorku. Současně se s vložením vzorků do komor vkládá 25 mg bavlněných vláken, pro zvýraznění žmolků. Každý vzorek je hodnocen po 30, 60, 90 a 120 minutách. Po každých 30 minutách jsou vzorky materiálů vyjmuty, lehce oklepány a vyhodnoceny. Následně jsou vráceny zpět do předem vyčištěných komor spolu s novými 25 mg bavlněnými vlákny. Po 60 minutách zkoušky se korkové obložení vyjme z komory a použije se jeho vnější strana k opětovnému obložení komory. Po 120 minutách se použije zcela nové korkové obložení. Hodnocení povrchové změny vzorků se hodnotí vizuálně skupinou hodnotitelů nezávisle na sobě vždy celými stupni jako průměr z třech měřených vzorků a je vyjádřeno jedním z pěti stupňů odolnosti, jak je uvedeno v tabulce 3. Stejně jako u měření žmolkovitosti na přístroji Martindale jsou i v tomto případě pomůckou v hodnocení fotografické etalony, zobrazené na obrázku 4(b), které jsou podle počtu žmolků od sebe odstupňovány. Při hodnocení je však směrodatný celkový dojem nejen s ohledem na počet žmolků [12].

Tab. 3. Stupně hodnocení žmolkovitosti na komorovém žmolkovacím přístroji [12].

<i>Odolnost proti žmolkování</i>		<i>Odolnost proti rozvláknění</i>	
<i>stupeň</i>	<i>slovní popis povrchové změny</i>	<i>stupeň</i>	<i>slovní popis povrchové změny</i>
5	bez žmolků	5	žádné až nepatrné rozvláknění
4	nepatrné žmolkování	4	lehké rozvláknění
3	střední žmolkování	3	střední rozvláknění
2	silné žmolkování	2	silné rozvláknění
1	velmi silné žmolkování	1	velmi silné rozvláknění



(a)



(b)

Obr. 3. (a), (b) Komorový žmolkovací přístroj.



(a)



(b)

Obr. 4. Fotografické etalony, (a) přístroj Martindale (b) komorový žmolkovací přístroj.

4 Digitální reprezentace obrazu

Obraz může být definovaný jako dvourozměrná funkce $f(x, y)$, kde x a y jsou prostorové souřadnice a amplituda f je intenzita nebo úroveň šedi v určitém bodě obrazu daném dvojicí souřadnic. Termín úroveň šedi se používá v případě intenzity monochromatických obrazů. Funkce tří proměnných je plošný obraz popsán mění-li se v čase jako $f(x, y, t)$ nebo v případě objemových obrazů jako $f(x, y, z)$.

Jestliže souřadnice x a y a amplituda f jsou konečné, diskrétní veličiny, nazýváme obraz digitálním. Jestliže je obraz spojitý s ohledem k souřadnicím x a y a amplitudě f vyžaduje pro počítačové zpracování převod do digitální formy, tzv. digitalizaci. Snímače pro vstup obrazové funkce $f(x, y)$ jsou většinou zdrojem spojitého signálu. Digitalizace hodnot souřadnic se nazývá vzorkování, digitalizace amplitudy kvantování. Digitalizace spočívá ve vzorkování obrazu do matice $M \times N$ a v kvantování jasové úrovně do k intervalů.

Vzorkováním obrazu je intervalem vzorkování určena vzdálenost mezi body v obraze a výběrem vzorkovací mřížky jsou tyto body plošně uspořádány. Kvantováním obrazové funkce je amplituda ve vzorkovaném obraze vyjádřena jako digitální údaj. Pro vyjádření jemných detailů a zabránění vzniku falešných obrysů musí být počet kvantovacích úrovní dostatečný. Kvantování jasové úrovně do k intervalů je vyjádřeno vztahem

$$k = 2^b, \quad (1)$$

kde k je počet úrovní jasu a b je počet bitů použitých pro reprezentaci informace o obrazovém elementu. Obvykle se používá 8 bitů na obrazový element tedy jeden pixel. Binární obrazy jsou reprezentovány pouze jedním bitem na obrazový element. Díky kvantování nabývá jasová funkce v digitalizovaných obrazech celočíselných hodnot [15].

Výsledkem digitalizace je matice reálných čísel. Předpokladem je, že obraz $f(x, y)$ je digitalizován tak, že výsledný obraz má M řádků a N sloupků. Velikost matice obrazu je $M \times N$. V souřadném systému je počátek matice obrazu definován v

souřadnicích $(x, y) = (0, 0)$, kde x jsou řady čísel od 0 do $M - 1$ a y jsou řady čísel od 0 do $N - 1$. Další hodnoty souřadnic podél prvního řádku v matici obrazu pak jsou $(x, y) = (0, 1)$. Uspořádání obrazových prvků v rámci souřadného systému v programovém prostředí Matlab se od předcházejícího v několika případech liší. Místo zápisu souřadnic (x, y) je používán zápis souřadnic (r, c) , kde r značí řádek (*row*) a c sloupec (*column*) v matici obrazu. Počátek souřadného systému matice obrazu je definován v bodech $(r, c) = (1, 1)$, kde r jsou řady čísel od 1 do M a c jsou řady čísel od 1 do N . Další pořadí souřadnic je stejné jako v předcházejícím případě [14].

4.1 Typy digitálních obrazů

Bez většího upřesnění se termínem digitální obraz rozumí obraz rastrový. Druhým typem obrazu jsou pak obrazy vektorové. Rastrové obrazy se používají k ukládání obrazů reálného světa, jako jsou např. skenované obrazy, digitální fotografie nebo obrazy televizní.

Obraz je popsán pomocí jednotlivých pixelů, které jsou uspořádány do mřížky neboli tzv. rastru pomocí souřadnic. Jsou nejmenší dále nedělitelnou jednotkou digitálního obrazu a nesou údaje obrazové informace, z nichž každý má své místo a hodnotu. U každého pixelu je bitově zaznamenána barva a každý bod tak nese bitovou informaci o své barvě. Čím více bitů, tím více barev je možné pokrýt. Rozlišujeme tak tzv. barevnou hloubku. Počet bodů v rastru udává rozměry celého obrazu a tím i jeho rozlišení udávané v jednotkách *dpi* (Dots Per Inch). *Dpi* udává, kolik pixelů se vleze na délkovou jednotku jednoho palce ($1'' = 2,54 \text{ cm}$) [15].

Jsou rozlišovány různé druhy digitálních obrazů. Matlab podporuje čtyři typy obrazových dat, jak je uvedeno níže.

Binární obraz

Binárním obrazem nazýváme digitální obraz reprezentovaný dvourozměrnou maticí $M \times N$, který nabývá jedné ze dvou možných hodnot pro každý pixel. Jde o logické pole tvořené z nul a jedniček. Nuly v obraze představují černou barvu, pozadí. Jedničky pak barvu bílou, které představují náležící objekty. Obvykle je výsledkem operace prahování nebo segmentace obrazu.

Monochromnatický obraz

Monochromatický obraz je také často nazýván jako obraz šedotónový nebo chybně černobílý. Stejně jako obraz binární je reprezentován dvourozměrnou maticí $M \times N$, kde hodnoty intenzity pixelů jsou vyjádřeny ve 256 stupních šedi v rozsahu 0 - černá až 255 - bílá, resp. jako 8 bitů na každý pixel. Jedním ze způsobů, jak získat tento typ obrazu je převedením z obrazu barevného.

RGB obraz

Barevný obraz je na rozdíl od předcházejících obrazů reprezentován trojrozměrnou maticí $M \times N \times 3$. RGB obraz se skládá ze tří samostatných složek (R - *red*, G - *green*, B - *blue*) a každý pixel tak nese informace všech tří RGB kanálů. Hodnota pixelu barevného obrazu je vyjádřena 3 byty (24 bity), což znamená možnost vyjádřit asi 16,7 miliónů barev. Na RGB obraz může být pohlíženo jako na tři monochromatické obrazy a jejich navrstvení přes sebe.

Indexovaný obraz

Indexovaný obraz je obraz složený ze dvou matic. Z datové matice celých čísel (*X-ové*), která má shodný rozměr matice jako rozměr obrazu. Druhou maticí je pak matice barevné mapy, nesoucí informace o všech barvách, které se v obraze vyskytují. Je určena rozměrem matice $M \times 3$ s hodnoty s desetinnou čárkou, kde M je rovno počtu barev, který definuje [14].

5 Obrazová analýza

Vznik žmolků na povrchu textilie způsobuje její nelibivý vzhled, který má vliv na přijatelnost a především funkčnost textilií. Žmolkovitost je základní vlastností, která rozhoduje o trvanlivosti výrobku a je jednou z vlastností, která spadá mezi nejčastější důvody reklamačního řízení v textilu. Hodnocení jakosti je tak velmi důležité pro dodržení kvality. Jak již bylo uvedeno, žmolkovitost je stále většinou vyhodnocována tzv. subjektivními metody založenými na smyslovém vnímání člověka. Každý člověk má však jinou úroveň smyslového vnímání ovlivněného aktuálním stavem nebo okolními vlivy prostředí a má tak individuální pohled na věc. Výsledky jednotlivých hodnotitelů se tak můžou výrazně lišit. Očním prozkoumáním není ani mnohdy možné zachytit veškeré změny povrchu a celkový dojem je tak mnohdy velmi zkreslený. Subjektivní hodnocení je hodnocením často nepřesným, které vyžaduje vysokou pozornost hodnotitele resp. několika hodnotitelů s nevýhodou jeho reprodukovatelnosti a určité časové náročnosti.

Výrazného zlepšení výše popsaných nedostatků může být dosaženo pomocí metod analýzy obrazu, která je stále častěji používána pro charakterizaci a kontrolu vad textilních materiálů. Nahrazuje vizuální subjektivní hodnocení obrazů. Analýzy obrazů spočívají v počítačovém zpracování digitálního obrazu a vyhodnocení sledovaného objektu navržením vhodného algoritmu. V textilním průmyslu je uplatnění obrazové analýzy velmi široké v řadě aplikací.

5.1 Postup zpracování obrazu

Zpracování obrazu může být chápáno jako součást zpracování signálů. Obraz jakožto vícerozměrný signál je jakékoliv grafické vyjádření, se kterým se neustále střetáváme. Intuitivně je obraz chápán jako obraz na sítnici oka nebo obraz v TV kameře, jako výsledek perspektivního zobrazení. Z obrazu můžeme prostřednictvím analýzy obrazu zjišťovat široké množství informací. Neexistuje však jednotný postup zpracování obrazů, záleží na konkrétních případech problematiky a potřebách zpracování obrazu. Obecně jej lze rozdělit podle autorů práce [16] do několika hlavních kroků:

- snímání a digitalizace obrazu,
- předzpracování obrazu,
- segmentace obrazu,
- popis objektů,
- klasifikace a porozumění obsahu obrazu, statistické vyhodnocení.

Snímání obrazu je převod optické veličiny na elektrický signál spojitý v čase i úrovni. Aby bylo možné obraz dále počítačově zpracovávat, je digitalizací převeden spojitý signál na signál diskrétní. V současné době máme několik možností jak obraz, resp. konkrétně jas, nasnímat výběrem z širokého množství zařízení. Nejčastěji je využíváno fotoaparátů, kamer a skenerů.

Nasnímaný obraz může být vlivem zvoleného způsobu snímání nebo nevhodnými podmínkami při procesu snímání a dalšími příčinami zkreslen. Cílem předzpracování obrazu je snížení tohoto zkreslení a usnadnění pozdější analýzy a identifikace objektů zvýrazněním nebo naopak potlačením některých z rysů v obraze. Obraz je možné předzpracovávat po snímání a digitalizaci stejně tak jako po segmentaci pro korekci obrazu pro měření a popis objektů. Existuje široké množství operací jak obraz předzpracovávat a jak operace předúprav obrazu rozdělit. Základní způsoby předzpracování lze podle typu finálních úprav obrazu rozdělit na jasové transformace, geometrické transformace, úpravy filtrací a ostření obrazu a matematické morfologie. Matematické morfologie jsou spjaté především se zpracováním již segmentovaných obrazů. Jiný typ dělení a to podle zpracovávaného okolí rozděluje operace na bodové, lokální a globální. Obecně však nelze stanovit standardní postup kroků předzpracování obrazu. V závislosti na kvalitě nasnímaného obrazu a na požadavcích výstupního obrazu se zvolí, které konkrétní operace budou použity v daném případě. Každý obraz vyžaduje individuální přístup. Oproti zmíněným výhodám, které nám předzpracování obrazu přináší, zároveň dochází s každým předzpracováním k částečným ztrátám informací ve srovnání s původním vstupním obrazem [16].

Klíčovým krokem zpracování obrazu je jeho segmentace. Cílem segmentace je oddělení sledovaných dat a redukce dat nadbytečných. Nejjednodušším, nejstarším a v určitých případech stále nejpoužívanějším způsobem segmentace obrazu je

segmentace tzv. prahováním, kde výsledkem segmentace je binární obraz. Tento způsob segmentace je založený na detekci celých oblastí, ploch objektů. Dalším z často používaných způsobů segmentace je například segmentace pomocí detekce hran, která objekty ohraničuje pomocí kontur.

Předposlední částí zpracování obrazu je popis segmentovaných objektů. Objekty je možné popisovat kvantitativně, pomocí souboru číselných charakteristik, jako je například popis velikosti objektů, nebo kvalitativně popisující relace mezi objekty a jejich tvarové vlastnosti.

Posledním neméně důležitým krokem oproti ostatním je klasifikace a interpretace popsanych sledovaných objektů nebo struktur, např. do stanovených tříd nebo skupin podobných rysů, podle požadovaného účelu a statistické zpracování dat metody matematické statistiky [16].

6 Spektrální přístup

Mezi spektrální techniky popisu textury patří dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace (*2 Dimensional Discrete Fourier Transform*), zkráceně 2D DFT. Tento spektrální přístup je založený na charakteristikách získaných z Fourierova frekvenčního spektra, popisující informace o globální periodicitě úrovní šedi obrazu identifikací vysokých frekvenčních hodnot v tomto spektru. Fourierova transformace je závislá na rotaci. Jestliže byl originální obraz otočen o určitý úhel, bude i jeho frekvenční rovina otočena o tento stejný úhel. Transformací horizontálního směru v původním obraze se v obraze frekvenčního spektra jeví jako směr vertikální. Směry jsou tak v těchto obou obrazech jsou navzájem ortogonální [17].

Vzhledem k periodické struktuře tkanin je Fourierova transformace vhodná pro kontrolu defektů tkanin, zjišťování dostavy a k určení dalších vlastností z monochromatického obrazu textury. V tomto případě bylo použito vlastností Fourierova frekvenčního spektra k detekci žmolků identifikováním vysokých frekvenčních hodnot. Obraz tkaniny byl rozložený na obraz textury a šumovou složku obrazu obsahující žmolky.

6.1 Dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace

Nechť $f(x, y)$ je obrazová funkce pro $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ a $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, kde $M \times N$ je velikost obrazu textury. Pak dvourozměrná diskrétní Fourierova transformace $F(u, v)$ obrazové funkce $f(x, y)$ je dána vztahem

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)}, \quad (2)$$

pro $u = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ a $v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$. Frekvenční oblast je souřadný systém v rozsahu $F(u, v)$ s frekvenčními proměnnými u a v . Prostorová oblast je definovaná analogicky se souřadným systémem s prostorovými proměnnými x a y . Pravoúhlá oblast $M \times N$ definovaná pomocí $u = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ a $v = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ je označována jako frekvenční pravoúhelník. Frekvenční pravoúhelník má stejný rozměr jako vstupní obraz.

Jestliže je dána $F(u, v)$, pomocí inverzní Fourierovy transformace získáme $f(x, y)$. Dvourozměrná diskrétní inverzní Fourierova transformace pro $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ a $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ má pak tvar

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(ux/M + vy/N)}. \quad (3)$$

$F(u, v)$ jsou funkční hodnoty a jsou nazývány jako tzv. Fourierovy koeficienty rozvoje. Jako *DC (Direct Current)* komponenta Fourierovy transformace je nazývána hodnota transformace v počátku frekvenční oblasti, tj. $F(0, 0)$, která je rovna průměrné hodnotě úrovně šedi obrazového bodu, tj. průměrné hodnotě $f(x, y) \times M \times N$ [17].

Jestliže $f(x, y)$ je reálná funkce, její transformace je funkce komplexní. Z důvodu vizuální analýzy transformace je vhodné vypočítat její spektrum $|F(u, v)|$ a zobrazit jako obraz. At $R(u, v)$ a $I(u, v)$ je reálná a imaginární složka $F(u, v)$, amplitudové frekvenční spektrum je pak určeno ze vztahu

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)}. \quad (4)$$

Výkonové spektrum nebo také někdy nazývané jako výkonová spektrální hustota je definované jako druhá mocnina $|F(u, v)|$, tj.

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2. \quad (5)$$

Pro zobrazení frekvenčního spektra je pro $P(u, v)$ ve škále úrovní šedi v 8-bitové hloubce potřeba provést logaritmickou transformaci [18], která je definovaná jako

$$P(u, v) = \log\left(1 + |F(u, v)|^2\right). \quad (6)$$

7 Testovací sada vzorků

V experimentální části k vyhodnocení žmolkovitosti bylo použito několik druhů textilních materiálů, výhradně pak tkanin. Vybrané tkaniny se lišily svým materiálovým složením, vazbou, dostavou a barvou. Celkem bylo použito devět typů vzorků reprezentovaných materiály ze 100% vlny a materiály směšovými ve směsích vlna/ polyester a viskóza/ polyester. Všechny tyto materiály byly v plátňových a keprových vazbách a jednobarevné s výjimkou materiálu číslo 2 a 5. Tyto materiály jsou na rozdíl od ostatních složeny z přízí ze dvou odlišných barev v osnovním i útkovém směru a na povrchu textilie tak dochází ke vzniku melírovaného efektu. Popis parametrů jednotlivých tkanin je uveden v tabulce 4. Jednotlivé vzorky použitých textilií jsou zobrazeny na obrázku 5.

Tab. 4. Testovací sada vzorků.

<i>Vzorek č.</i>	<i>Materiálové složení</i>	<i>Vazba</i>	<i>D_o [cm]</i>	<i>D_ú [cm]</i>
1	100 % vlna	keprová	38	26
2	100 % vlna	keprová	26	21
3	100 % vlna	plátňová	17	13
4	směs vlna/ polyester	keprová	30	26
5	směs vlna/ polyester	keprová	23	20
6	směs vlna/ polyester	plátňová	20	18
7	směs vlna/ polyester	keprová	27	21
8	směs vlna/ polyester	plátňová	25	23
9	směs viskóza/ polyester	plátňová	17	17

Uvedené materiály byly podrobeny zkouškám podle normy ČSN EN ISO 12945-2 a ČSN 80 0838 na přístroji Martindale a komorovém žmolkovacím přístroji jak bylo detailně popsáno v kap. 3.4. Jednotlivé zkoušky probíhaly ve zkušební laboratoři v normálním zkušebním ovzduší pro klimatizaci a zkoušení textilií tj. teplotě vzduchu 22 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 2 %.

Aby bylo však možné po dosažení jednotlivých stádií zkoušky žmolkovitosti obrazy tkanin nasnímat a následně vyhodnotit a porovnat s vytvořenou objektivní metodou hodnocení, nebyl použit k vyhodnocení jednoho druhu materiálu pouze jeden vzorek textilie, tak jak popisuje norma. Po dosažení prvního stádia zkoušky je podle

normy vzorek vyhodnocen a na stejném vzorku je pokračováno ve zkoušce, než je dosaženo posledního stádia zkoušky. V tomto případě byl po dosažení každého stádia zkoušky vzorek vyměněn a byl použitý vzorek nový ze stejného právě hodnoceného materiálu. Jestliže tedy byla na přístroji Martindale žmolkovitost hodnocena po 125, 500, 1000, 2000, 5000 a 7000 otáčkách bylo použito šest vzorků pro vyhodnocení jednoho druhu materiálu a pro komorový žmolkovací přístroj kdy je vyhodnocována žmolkovitost po 30, 60, 90 a 120 minutách vzorky čtyři. Tím se zvýšila i časová náročnost na provedené zkoušky.



Obr. 5. Testovací sada vzorků, (a) vzorek č. 1, (b) vzorek č. 2, (c) vzorek č. 3, (d) vzorek č. 4, (e) vzorek č. 5, (f) vzorek č. 6, (g) vzorek č. 7, (h) vzorek č. 8, (i) vzorek č. 9.

8 Subjektivní vyhodnocení žmolkovitosti tkanin pomocí fotografických etalonů

Subjektivní hodnocení žmolkovitosti pomocí fotografických etalonů je stejně jako postup zkoušky žmolkovitosti prováděn podle příslušných norem ČSN EN ISO 12945-2 a ČSN 80 0838, které bylo podrobněji popsáno již v kapitole 3.4. Přiřazené stupně žmolkovitosti jednotlivým tkaninám po zkouškách na přístroji Martindale a na komorovém žmolkovacím přístroji jsou uvedeny v tabulce 5 a 6.

Většina materiálů použitých k experimentu a vyhodnocení žmolkovitosti vykazuje podle subjektivního hodnocení vysokou odolnost vůči tvorbě žmolků. Výskyt žmolků na povrchu textilie je pouze nepatrný nebo se pohybuje kolem její střední úrovně.

Tab. 5. Vyhodnocení žmolkovitosti (*Ž*) a rozvláknění (*R*) na přístroji Martindale.

Vzorek č.		125 otáček	500 otáček	1000 otáček	2000 otáček	5000 otáček	7000 otáček
1	<i>Ž</i>	5	5	5	5	5	5
	<i>R</i>	5	5	5	5	4-5	4-5
2	<i>Ž</i>	5	4	5	5	5	5
	<i>R</i>	4-3	3	4-3	4-3	4	4
3	<i>Ž</i>	5-4	4	4	5-4	5	5
	<i>R</i>	4	3	3	3	4	4
4	<i>Ž</i>	5	5	5	5	5	5
	<i>R</i>	5	4-5	4	4	4	4
5	<i>Ž</i>	5	5	5-4	4	4	5-4
	<i>R</i>	4	4	4	3	3-4	4
6	<i>Ž</i>	4	3	3	2	1	3
	<i>R</i>	4	4	4	4	4	4
7	<i>Ž</i>	5	4-3	3	3	3	4
	<i>R</i>	4	4	4	4-3	4-3	4
8	<i>Ž</i>	4	4	4	4	5-4	5
	<i>R</i>	4	5-4	5-4	5-4	4	4
9	<i>Ž</i>	5	4	3	2	1	2
	<i>R</i>	5	5	4	5	4	4

Tab. 6. Vyhodnocení žmolkovitosti (\check{Z}) a rozvláknění (R) na komorovém žmolkovacím stroji

Vzorek č.		30 minut	60 minut	90 minut	120 minut
1	\check{Z}	5	5	5	4
	R	5	4	4	4
2	\check{Z}	3	4	4	4
	R	3	4	4	4
3	\check{Z}	3	4	4	2
	R	4	3	3	2
4	\check{Z}	5	5	5	5
	R	5	5	4	4
5	\check{Z}	5	3	4	4
	R	3	3	2	2
6	\check{Z}	5	5	4	4
	R	4	4	4	4
7	\check{Z}	5	5	4	3
	R	4	4	4	3
8	\check{Z}	5	4	4	3
	R	5	4	4	4
9	\check{Z}	4	3	2	1
	R	3	3	2	3

Pro vytvoření metody objektivního hodnocení žmolkovitosti bylo zásadní nalézt takový materiál, který by splňoval po vyhodnocení vizuální metodou pomocí fotografických etalonů podmínku dosažení všech pěti úrovní stupňů žmolkovitosti. To je důležité pro vytvoření šablony pro objektivní hodnocení. Materiály splňující tuto podmínku jsou zvýrazněny červenou barvou v tabulce 5 a v tabulce 6. Po vyhodnocení žmolkovitosti vzorků odíraných na komorovém žmolkovacím přístroji je to materiál číslo 9, směs viskózy s polyesterem, a stejně je tomu tak i na přístroji Martindale, kde tuto podmínku splňuje s materiálem číslo 9 také vzorek materiálu číslo 6, směs vlna/ polyester. Tyto materiály, resp. jejich digitální obrazy byly použity k dalšímu zpracování k vytvoření algoritmu. V případě vzorků z přístroje Martindale, kde tuto podmínku splňují dva materiály, byl vybrán pro vytvoření šablony materiál číslo 6.

9 Metody hodnocení žmolkovitosti pomocí obrazové analýzy

Ke zpracování obrazů a vytvoření algoritmu pro objektivní hodnocení žmolkovitosti textilií testovaných na komorovém žmolkovacím stroji a přístroji Martindale bylo využito programového prostředí softwaru Matlab a jeho zaimplementovaného nástroje Image Processing Toolbox, který obsahuje řadu užitečných funkcí ke zpracování a analýze obrazu.

Vzhledem k odlišnosti vytvořených žmolků na povrchu textilie a jejich obrazů z jednotlivých žmolkovacích strojů, nebylo možné použít zcela jednotných podmínek a stejných úprav při zpracování obrazů tkanin. Vytvořený algoritmus se tedy pro obrazy tkanin z těchto přístrojů lišil a to konkrétně v jejich předzpracování. Obecně však lze algoritmus pro obrazy rozdělit do několika níže uvedených více či méně obecných kroků, podle kterých byl obraz zpracováván. Jednotlivé operace algoritmu jsou v následujících kapitolách blíže popsány.

Navržený algoritmus metody pro objektivní hodnocení žmolkovitosti

1. Načtení obrazu žmolkované textilie
2. Výřez části obrazu a jeho zmenšení
3. Převedení RGB obrazu na obraz monochromatický
4. Jasové transformace
5. Fourierova transformace
6. Filtrace obrazu mediánovým filtrem
7. Segmentace obrazu prahováním
8. Odstranění objektů zasahujících do hran obrazu a objektů menších než 4 pixely
9. Výpočet jednotlivých charakteristik žmolkovitosti
 - Počet žmolků n
 - Plocha žmolků S_i
 - Obvod žmolků O_i
 - Hustota žmolkovitosti D_1
 - Hustota žmolkovitosti D_2
 - Těžiště žmolků
 - Morfologická operace eroze

- Aritmetické operace obrazů
- Generování náhodných bodů a nalezení nejbližších vzdáleností žmolků
- Kontrast G
 - Aritmetické operace obrazů
 - Morfologická operace dilatace

10. Vyhodnocení stupně žmolkovitosti

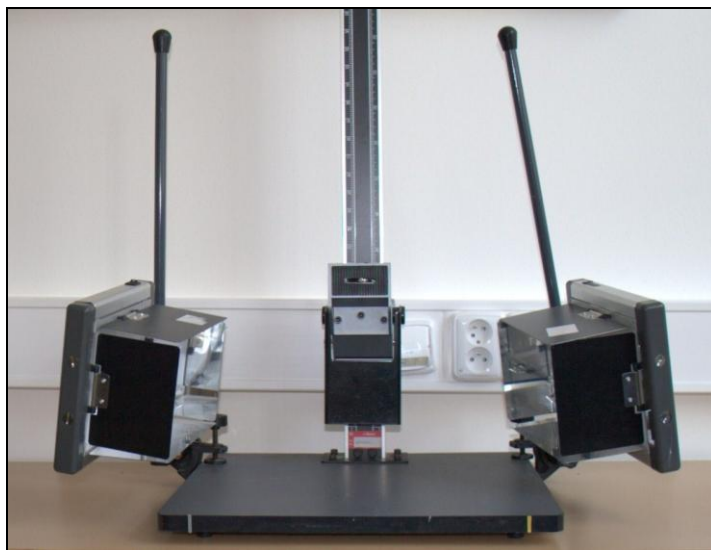
9.1 Nasnímání obrazů tkanin

Pro počítačové zpracování obrazu žmolkovaných vzorků tkanin je potřeba obrazy nasnímat a převést do digitální formy. Jednotlivé obrazy byly nasnímány a převedeny do digitální formy pomocí digitálního fotoaparátu Canon EOS 400D. Obrazy byly sejmuty v rozlišení 240 *dpi* v 24 - bitové hloubce s velikostí obrazu 2592×3888 pixelů, z kterých byla následně pro další jednodušší zpracování vyříznuta oblast pouze s vyskytujícími se žmolky. Většina jednotlivých charakteristik žmolků zjišťovaných z obrazu bude vyjadřována ve skutečných rozměrech, dané absolutními jednotkami, na určitý rozměr referenční plochy. Vzhledem k relativnímu rozměru pixelu je tak tedy nutné provést tzv. kalibraci obrazového bodu. Kalibrací obrazového bodu je určeno, jaké skutečné velikosti v *mm* odpovídá 1 *px*. Rozměr pixelu udávaný v absolutních jednotkách je závislý na vzdálenosti objektivu od snímaného objektu. Při snímání obrazů je proto přiloženo ke tkanině pravítko a z takto sejmutého obrazu je určen před samotným výřezem obrazu reálný rozměr odpovídající 1 *px*. Vyříznuté obrazy jsou uloženy ve formátu *.jpg*.

Aby na zachyceném obrazu byly žmolky na materiálu co nejvíce viditelné v kontrastu s pozadím, bylo nutné přizpůsobit procesu snímání okolní podmínky. Hodnota jasu jednotlivých pixelů v obraze závisí na mnoha faktorech, jako je poloha kamery vůči snímanému objektu, poloha a typ světelného zdroje, odrazivost snímaného povrchu nebo orientace resp. natočení snímaného povrchu. Především pak vhodně zvoleným nastavením osvětlení při procesu snímání může být docíleno vhodných podmínek pro další zpracování, rozlišení žmolků od pozadí tkaniny. Vzorky byly nasnímány v zatemněné místnosti a nasvíceny umělým osvětlením pomocí zářivek umístěných na pohyblivém kloubu, tvořící plošné světlo, které je navíc podle potřeby

pomocí odrazových lišt různě rozptylováno pro dokonalejší nasvícení a zachycení obrazu. Digitální fotoaparát i osvětlovací zařízení byly umístěny na speciální konstrukci určené ke snímání obrazů, zobrazené na obrázku 8.

Vytvořené žmolky na tkaninách po zkouškách z komorového žmolkovacího přístroje jsou díky přidávaným bavlněným vláknům při průběhu zkoušky vůči pozadí textilie na pohled jasně kontrastní. Pro jejich zvýraznění se jako nejvhodnější jevílo použít při snímání obrazu bočního nasvícení ze dvou stran, které zajišťuje rovnoměrné nasvícení. Žmolky vytvořené po zkouškách na přístroji Martindale splývají s pozadím tkaniny. Pro jejich odlišení od pozadí bylo použito bočního nasvícení pouze z jedné strany. Tímto nasvícením z jedné strany vrhají jednotlivé žmolky stíny, které tak zvýrazňují jejich tvar a jejich celkovou členitost na povrchu tkaniny. Nevýhodou tohoto nasvícení z jedné strany však může být nerovnoměrné osvětlení celého snímaného objektu, kde jedna jeho strana zůstává neosvětlena nebo je osvětlena v nižší intenzitě.



Obr. 8. Konstrukce pro snímání obrazu.

9.2 Postup zpracování obrazů tkanin

Ke zpracování obrazů textilií testovaných na komorovém žmolkovacím přístroji a přístroji Martindale byly podle nastíněného algoritmu uvedeného v kapitole 9 provedeny na sejmutém digitalizovaném obraze konkrétní úpravy a operace, které jsou následně v jednotlivých kapitolách podrobněji popsány.

9.2.1 Zpracování a úprava obrazů tkanin

Prvotní zpracování nasnímaných obrazů tkanin bylo provedeno v těchto následujících krocích. Nasnímané obrazy ve formátu *.jpg* bylo nejprve potřeba načíst do programového prostředí Matlab. K tomuto kroku slouží v Matlabu příkaz *imread.m*. Z obrazu tkaniny byla vyříznutá oblast žmolků o velikosti 5×5 cm, která odpovídá podle vzdálenosti objektivu od snímaného objektu po přepočtení na pixely rozměru obrazu 2065×2065 pixelů v případě tkaniny pěti stupňů žmolkovitosti pro komorový žmolkovací přístroj a 1766×1766 pro přístroj Martindale. Takto ořezaný obraz byl ještě dále zavedeným příkazem *imresize.m* zmenšen na jednu čtvrtinu a převeden do třídy *double.m*.

Dalším krokem v této fázi předzpracování obrazu pro další a jednodušší zpracování je převod z barevného obrazu RGB do odstínů šedi na obraz monochromatický. Převedením obrazu RGB do odstínů šedi se světlá místa, představující objekty, v obraze ještě více zesvětlí a naopak tmavé body, znázorňující v pozadí vazbu textilie, ztmaví. Kontrast mezi hledanými objekty a pozadí tkaniny se více zvýrazní. K této transformaci obrazu slouží v Matlabu zavedená integrovaná funkce *rgb2gray.m*.

9.2.2 Jasové transformace

Jasové transformace lze rozdělit do dvou skupin. Na tzv. jasové korekce, kde hodnota jasu v bodě výstupního obrazu závisí na poloze daného bodu v obraze vstupním nebo popř. jeho malém okolí v obrazech. Druhou skupinou jsou tzv. transformace jasové stupnice bez závislosti umístění bodu v obraze a tedy pro všechny pixely stejné, založené často na informaci z histogramu a jeho úpravách. Histogram definuje četnosti výskytu jednotlivých úrovní šedi v obraze pomocí sloupcového grafu a je často jedinou globální informací o daném obraze. Horizontální osa v histogramu znázorňuje hodnoty úrovní jasu a vertikální osa četnosti bodů resp. pixelů s danou úrovní šedi [15].

Pro další zvýšení kvality obrazu a jeho následnou kvalitnější a především snazší interpretaci, a tedy zvýraznění kontrastu špatně rozeznatelných detailů s nízkým kontrastem mezi hledanými objekty a pozadím tkaniny, bylo v této práci použito transformací jasové stupnice s využitím histogramů obrazů.

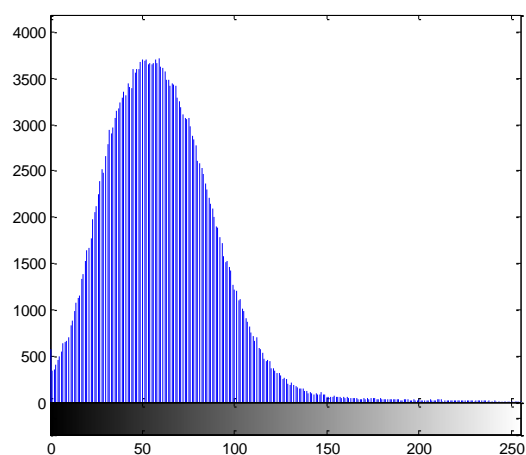
Jednou z úprav pro zvýšení kontrastu monochromatického obrazu se velmi často používá tzv. vyrovnaní histogramu neboli jeho ekvalizace. Ekvalizací se změni rozložení jasových úrovní v obraze tak, že četnosti pro jednotlivé jasové úrovně jsou zastoupeny v histogramu přibližně stejně. Kontrast pro úrovně jasu, které se nachází blízko maxim původního histogramu, se zvýší a naopak pro úrovně jasu nacházející se blízko minim původního histogramu se kontrast sníží [15]. Pro rozložení jednotlivých četností úrovní šedi slouží v Matlabu příkaz *imhist.m*. Pro transformaci jasové stupnice do přibližně stejných četností se používá příkaz *histeq.m*. Stejně jako může vést vyrovnaní histogramu ke zlepšení kvality obrazu zvýrazněním detailů s nízkým kontrastem, může dojít po ekvalizaci i k jeho zhoršení a to především v případě, kdy výchozí monochromatický obraz má poměrně vysoký kontrast mezi objekty a pozadím. Vyrovnaním histogramu se tento kontrast mezi objekty sníží a kvalita výsledného obrazu pro další zpracování se tak zhorší. Jestliže by byl rozdíl mezi kontrastem objektů a pozadím nižší došlo by naopak ke zvýšení kvality obrazu.

Další z úprav, která nastavuje hodnoty intenzity v obraze a kterou Matlab nabízí, je úprava jasu, které je dosaženo použitím funkce *imadjust.m*, která pro automatické nastavení této funkce využívá funkce *stretchlim.m*. Funkce nastavuje hodnoty intenzity obrazu odstraněním extrémů na obou koncích rozsahu, konkrétně 1% dat s maximální a 1% dat s minimální intenzitou, a dává tak následně větší prostor pro úpravu resp. roztažení hodnot jasu na plný dynamický rozsah zbývajících hodnot intenzity. V případě, kdy obraz nenabývá všech možných úrovní šedi, je histogram roztažený do maximálního možného rozsahu jasových úrovní a kontrast se zvýší. Použitím této funkce se světlé části obrazu ještě více zesvětlí a rozšíří se dynamický rozsah tmavé části obrazu, takže detaily v obraze jsou více viditelné.

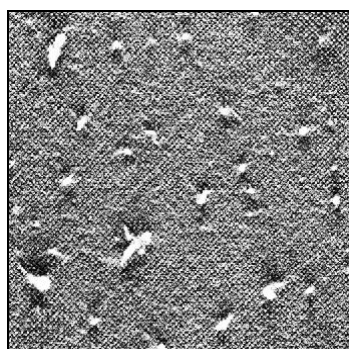
Příklady jednotlivých jasových transformací vzorků z komorového žmolkovacího přístroje a přístroje Martindale jsou zobrazeny na obrázku 9 a 10. Obrázky 9(a1) a 10(a1) zobrazují výchozí monochromatické obrazy žmolkované tkaniny a obrázky 9(a2) a 10(a2) jejich histogramy, znázorňující jejich jednotlivé rozložení jasových úrovní v obraze. Obrázky 9(b1),(b2) a 10(b1),(b2) zobrazují upravené obrazy a histogramy po ekvalizaci. Obrazy upravené pomocí funkce *imadjust.m* a jejich histogramy jsou znázorněny na obrázcích 9(c1),(c2) a 10(c1),(c2).



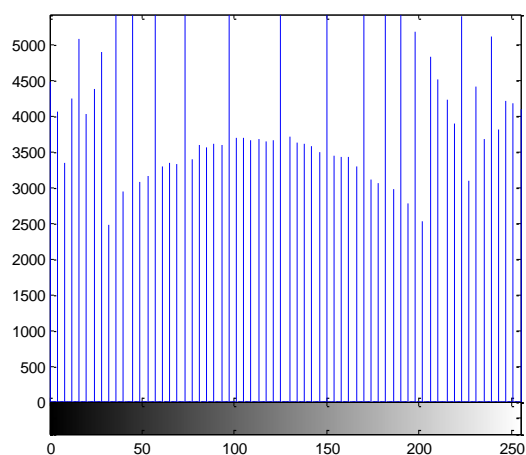
(a1)



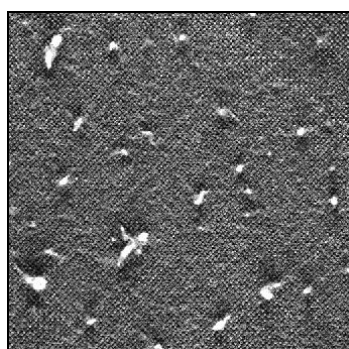
(a2)



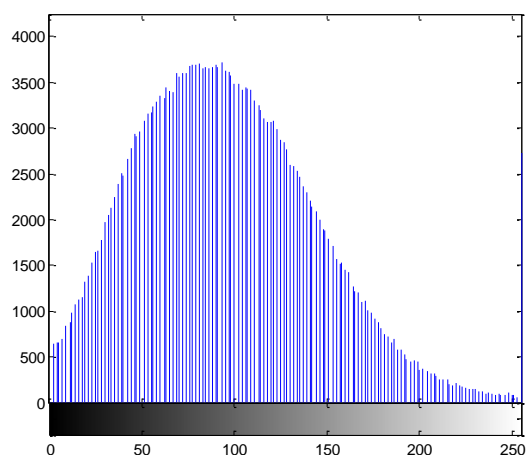
(b1)



(b2)

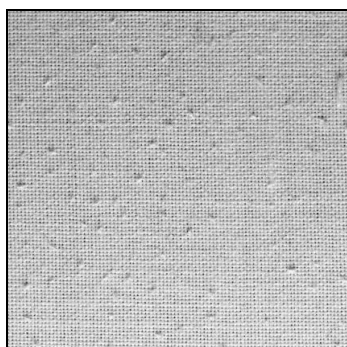


(c1)

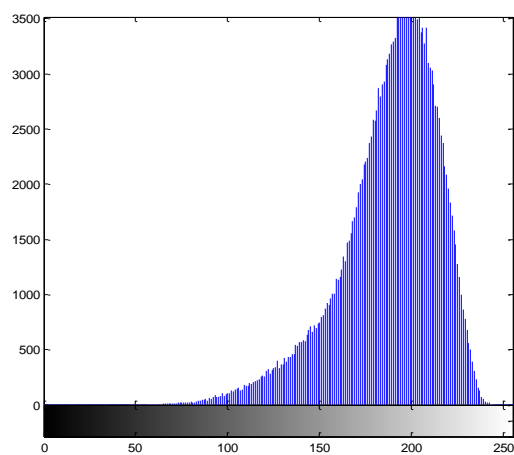


(c2)

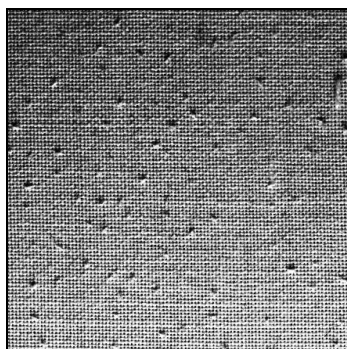
Obr. 9. Jasové transformace pro obraz tkaniny z komorového žmolkovací přístroje, (a1) výchozí monochromatický obraz, (b1) ekvalizovaný obraz textilie, (c1) obraz po úpravě funkcí `imadjust.m`, (a2), (b2), (c2) příslušné histogramy rozdělení úrovní šedi k obrazům.



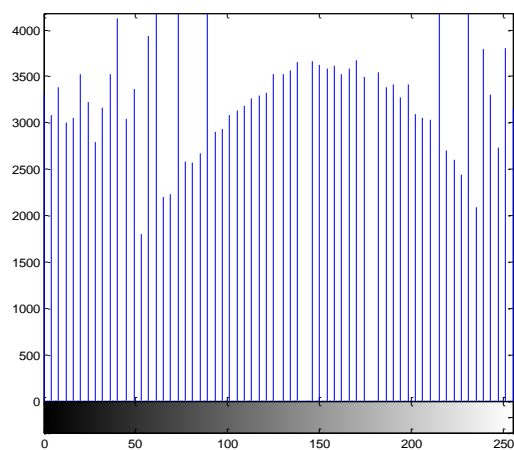
(a1)



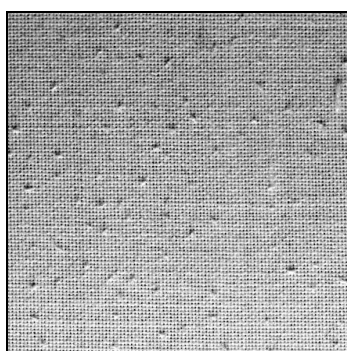
(a2)



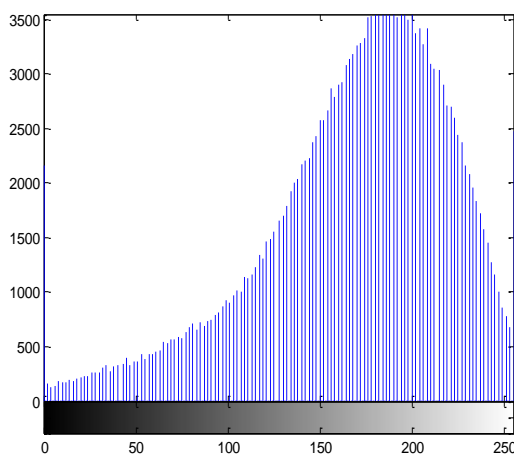
(b1)



(b2)



(c1)



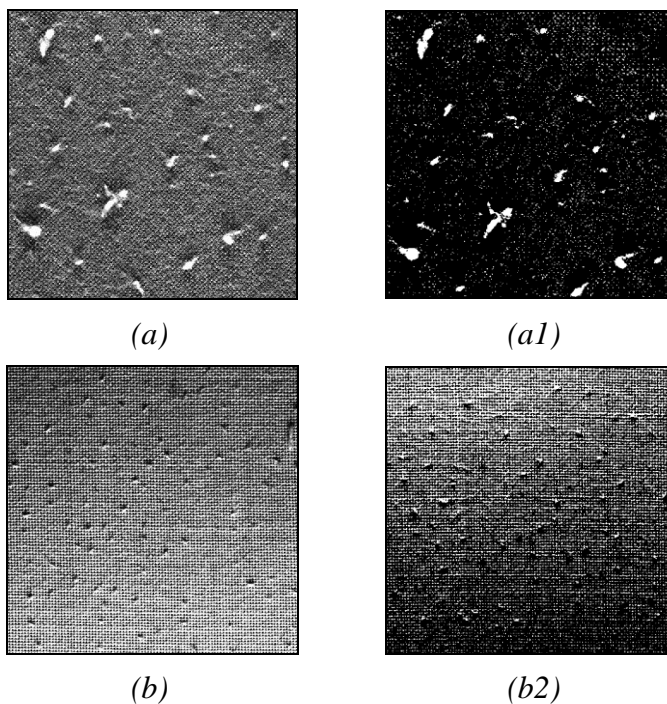
(c2)

Obr. 10. Jasové transformace pro obraz tkaniny z přístroje Martindale, (a1) výchozí monochromatický obraz, (b1) ekvalizovaný obraz textilie, (c1) obraz po úpravě funkcí *imadjust.m* (a2), (b2), (c2) příslušné histogramy rozdělení úrovně šedi k obrazům.

Pro vzorky z komorového žmolkovacího přístroje je způsob jasové transformace vyrovnáním histogramu nevhodný z již zmíněného důvodu, že kontrast mezi objekty a pozadím, způsobený díky přidávaným bavlněným vláknům v průběhu zkoušky, se úpravou vyrovnání histogramu sníží. Takto upravený obraz by byl pro další zpracování nevhodný. Roztažením histogramu funkcí *imadjust.m* se kontrast a jasová úroveň v obraze zvýší a tato úprava se tak dále jeví jako vhodná pro další zpracování obrazu. Naopak pro vzorky z přístroje Martindale, kde je kontrast mezi žmolky a pozadím minimální, se vyrovnáním histogramu kontrast obrazu zvýší více než pouze jeho roztažením funkcí *imadjust.m*.

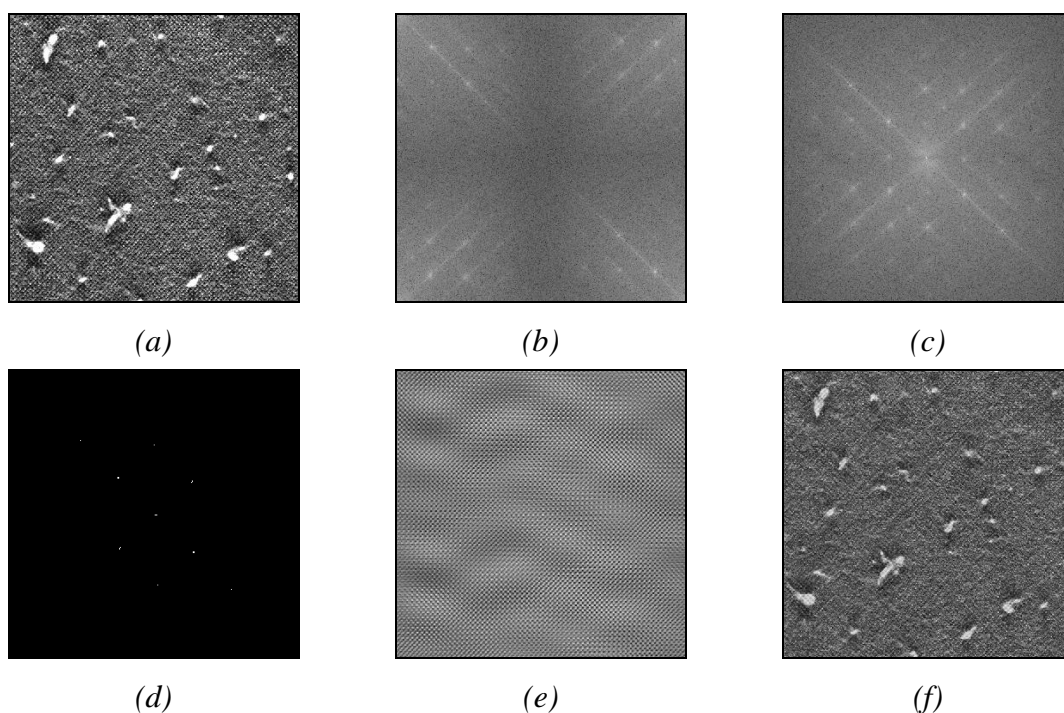
9.2.3 Detekce žmolků z povrchů tkaniny použitím 2D DFT

I přes předcházející předzpracování obrazu jsou žmolky na povrchu textilie zobrazeny v porovnatelných hodnotách jasu jako některá místa ve vazbě tkaniny v pozadí objektů. Při prahování takového obrazu by segmentace žmolků nebyla vůbec možná. Žmolky by nebyly odděleny od pozadí textilie. Příklady špatné segmentace vzorků tkanin po předzpracování obrazů pomocí jasových transformací jsou zobrazeny na obrázku 11.



Obr. 11. (a1) Obraz tkaniny z komorového žmolkovacího přístroje po jasové transformaci (b1) obraz tkaniny z přístroje Martindale po jasové transformaci, (a2), (b2) binární obrazy tkanin po segmentaci prahováním s prahem $T=0,7$.

Pro správnou segmentaci žmolků je tedy nutné nějakým způsobem oddělit žmolky od vazby textilie, která způsobuje při prahování jisté problémy. Jednotlivé soustavy nití, které provázáním v případě tkaní nebo proplétáním u pletení tvoří vazbu textilie, se jeví svojí strukturou jako periodické. Na základě změny v této pravidelné struktuře, kterou žmolky svojí odlišnou strukturou způsobují, mohou být následně detekovány. Detekce žmolků z obrazu tkaniny byla založená na transformaci obrazu tkaniny na frekvenční obraz pomocí dvourozměrné diskretní Fourierově transformaci, která byla popsána již v kapitole 6.1. Vysoké hodnoty (vrcholy) ve frekvenčním spektru odpovídají periodické struktuře osnovních a útkových nití. Nalezením těchto hodnot a použitím filtrace Fourierova spektra prahovou hodnotou T se všechny body v obraze s hodnotou menší než stanovený práh nastavily na 0 a body s hodnotou větší než daný práh si ponechaly svoji předcházející hodnotu. Velikost prahu byla stanovena experimentálně z intervalu hodnot $\langle 0; 1 \rangle$. Jako nejvhodnější se pro jednotlivé tkaniny jeví hodnoty prahu v rozsahu 0,62 - 0,7. Z takto upraveného spektra byly získány zrekonstruované obrazy použitím inverzní Fourierovy transformace. Výchozí obraz byl rozložený na neperiodický obraz s potlačenou vazbou textilie obsahující žmolky spolu se všemi prvky šumu a obraz periodický zobrazující základní vazbu tkaniny.



Obr. 12. (a) Výchozí obraz tkaniny po jasové transformaci, (b) necentrované výkonové spektrum po logaritmické transformaci, (c) centrované výkonové spektrum po logaritmické transformaci, (d) prahované spektrum ($T = 0,7$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury.

9.2.4 Filtrace obrazu

Zrekonstruovaný obraz s potlačenou vazbou textilie obsahuje kromě žmolků také prvky šumu a zbytkové informace o pravidelné textuře, které bylo potřeba před segmentací obrazu upravit jeho odstraněním.

Šum je definovaný jako nežádoucí jev vyskytující se téměř v každém obraze způsobující tak jeho degradaci. Šum je potřeba z obrazu odstranit případně jej eliminovat. Existuje celá řada šumů stejně jako metod filtrací, k redukci takového šumu popřípadě zároveň i k zvýraznění informací v obraze, které budou následně blíže popsány podle [15]. Správné rozlišení šumu může pomoci k výběru konkrétní metody a dosažení tak co nejlepších výsledků. Filtrací obrazu dochází k jeho vyhlazování.

Máme-li k dispozici několik obrazů, nejjednodušším způsobem odstranění šumu je metoda založená na statistickém principu filtrací šumu průměrováním. N - násobným sejmutím obrazu za stejných podmínek je z každého obrazu pro bod o stejných souřadnicích pro všechny obrazy vypočtena nová hodnota pixelu získaná jako aritmetický průměr z n - počtů obrazů. Výhodou tohoto typu korekce je, že povětšinou nevznikají problémy s rozmazáváním.

Dalším ze způsobů filtrace je filtrace šumu založená na výpočtu hodnoty nového pixelu z malého okolí reprezentativního právě zpracovávaného pixelu. Je používána v případě, kdy je k dispozici pouze jediný pořízený obraz, jak je tomu ve většině a i v tomto případě. Filtry lze rozdělit na lineární a nelineární.

Lineární filtry založené na výpočtu hodnoty nového pixelu ze svého okolí určují hodnotu reprezentativního pixelu jako lineární kombinaci hodnot ve zkoumaném okolí. Tyto filtry lze aplikovat na obraz pomocí konvoluce nebo korelace, které se liší velikostí příslušných váhových koeficientů a velikostí použité konvoluční resp. korelační masky, často nazývané také jako jádro. Masky přechází postupně přes celý obraz a ukládá nové vypočtené hodnoty jasu do matice výstupního obrazu. Mezi nejpoužívanější lineární filtry patří metody vyhlazování obyčejným průměrováním nebo pomocí Gaussova filtru. Jejich společnou nevýhodou při aplikaci těchto filtrů je rozmazávání a vyhlazování hran v obraze, ke kterým jsou necitlivé.

Nelineární filtry částečně potlačují citlivost lineárních filtrů k vyhlazování hran a naopak hrany mírně ostří. Jsou šetrné k detailům v obraze. Filtry nepočítají intenzitu reprezentativního pixelu ze svého okolí, ale vybírají ze svého okolí vhodnou hodnotu, do které reprezentativní bod patří. Pouze pixely těchto hodnot se dále používají k reprezentaci celého okolí a nepřidávají tak obrazu žádnou novou hodnotu intenzity. Příkladem nelineárních filtrů je například filtr rotující masky, který podle možných poloh rotující masky vypočte v každé poloze rozptyl jasů a vybere masku s nejmenším rozptylem, z které je vypočtena hodnota jasu, kterou je nahrazen reprezentativní pixel obrazu. Dalším typem nelineárního filtru je mediánový filtr, který byl vybrán v tomto případě k odstranění šumu zrekonstruovaných obrazů neperiodické struktury žmolkových tkanin a bude proto dále blíže rozebrán.

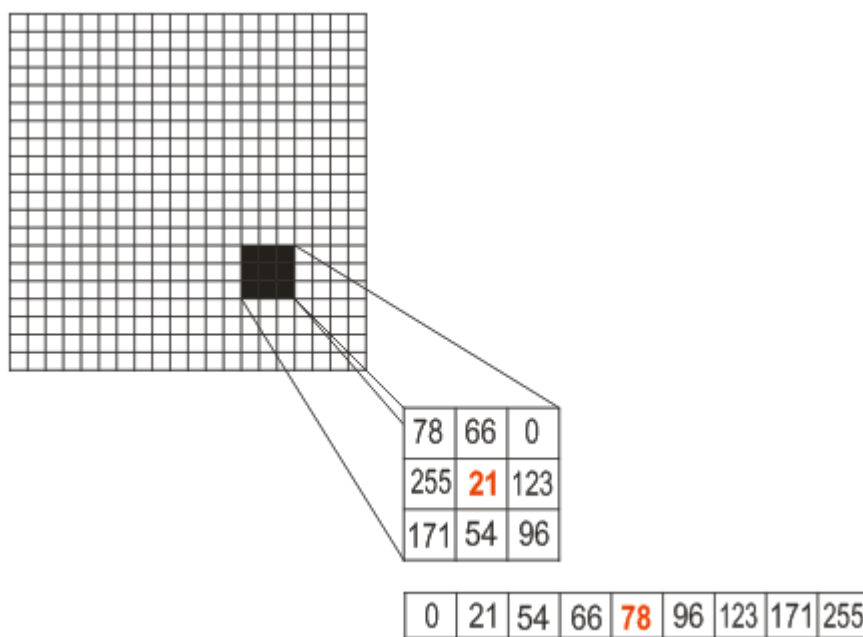
Mediánový filtr vychází z robustních statistik a je jeho nejjednodušším a nejpoužívanějším odhadem ve zpracování obrazu. Používá se především k redukci bodového šumu v obraze, tzv. šumu typu sůl a pepř, který vzniká při přenosu obrazu změnou hodnot pixelů s nejvyšší intenzitou na hodnoty blízké 255 nebo naopak s nejnižší intenzitou blízké 0. Právě i tento šum se vyskytoval v obrazech nasnímaných tkanin. Mediánem \tilde{x} se rozumí 50 % - ní kvantil. Necht' X je náhodou veličinou a medián \tilde{x} je hodnota, pro kterou platí

$$P(X < \tilde{x}) \leq \frac{1}{2} \text{ a } P(X > \tilde{x}) \leq \frac{1}{2}. \quad (7)$$

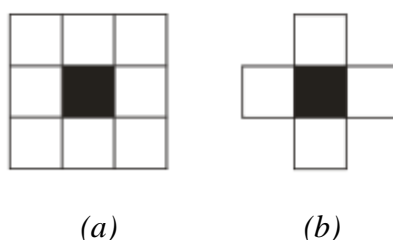
Pro jeho výpočet stačí uspořádat hodnoty statistického souboru vzestupně podle velikosti. Medián \tilde{x} je hodnota ležící v takto seřazeném souboru uprostřed. Filtrace mediánem určí jas bodu tak, že vypočítá medián z hodnot jasu bodů v okolí reprezentativního bodu. Mezi nejčastěji používané mediánové okolí a také pro snadné určení mediánu se nejčastěji používá čtvercového okolí s lichým počtem řádků a sloupců s reprezentativním bodem ležícím tak uprostřed.

Jak je zobrazeno na obrázku 13, algoritmus mediánu nejprve podle velikosti masky, která přechází postupně přes celý obraz, seřadí vzestupně všechny hodnoty jasu bodů v lokálním okolí a vybere hodnotu ležící uprostřed resp. medián. Ten je na obrázku zvýrazněn červenou barvou jako hodnota 72. Touto hodnotou je následně

nahrazen zkoumaný reprezentativní bod v obraze, na obrázku zvýrazněn taktéž červenou barvou hodnotou 21. V závislosti na hustotě šumu je zvolena velikost okolí bodu, velikost masky. Základní velikost matice okolí bodu má rozměry 3×3 , může být však použita i matice větší. Tento typ filtrace má negativní vliv na tenké čáry a zaobljuje a rozmazává ostré rohy objektů v obraze. Tento problém lze však eliminovat úpravou tvaru okolí např. na tvar kříže. Obrázek 14(a) ukazuje příklad standardní masky o velikosti 3×3 . Na obrázku 14(b) je znázorněna maska ve tvaru kříže.



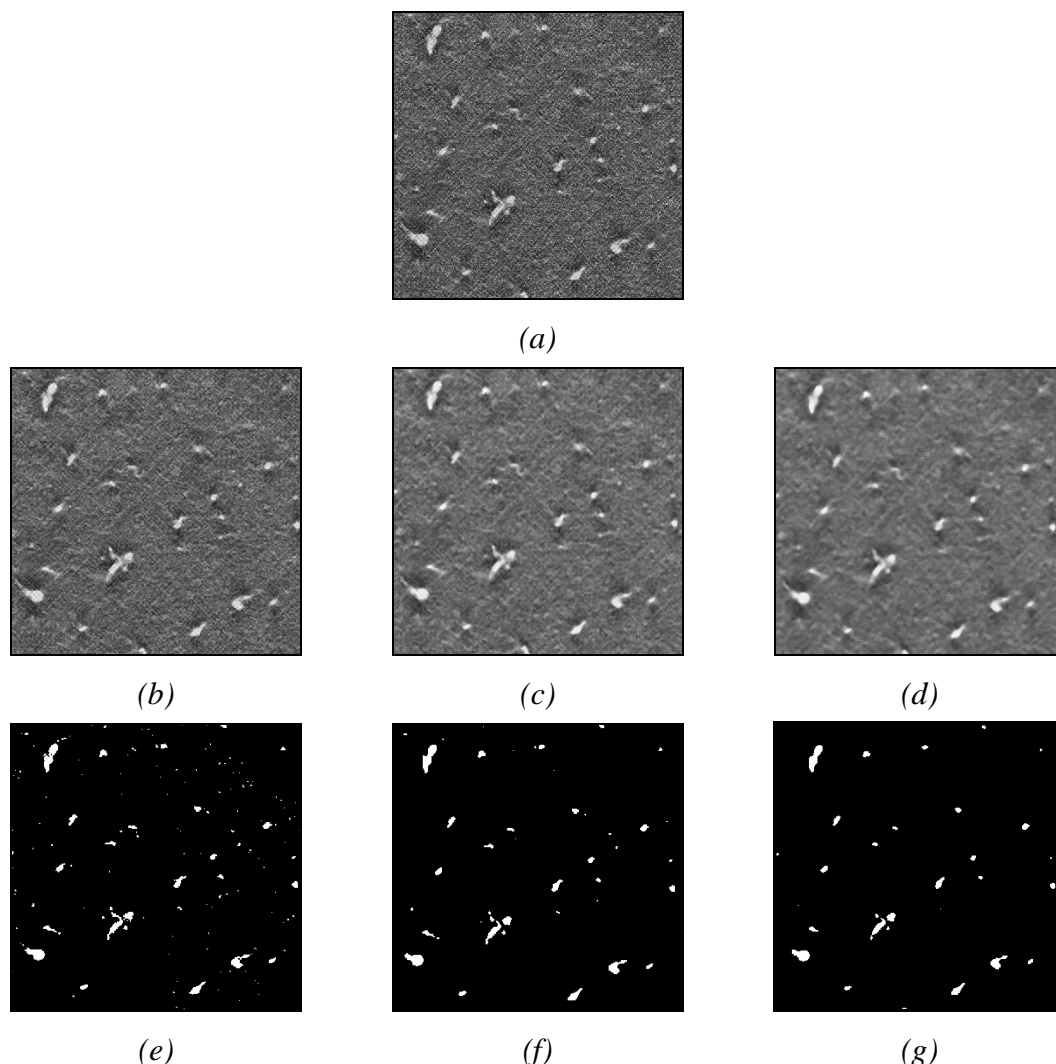
Obr. 13. Schéma algoritmu mediánové filtrace s velikostí matice okolí 3×3 pixely.



Obr. 14. (a) Maska velikosti 3×3 , (b) maska ve tvaru kříže.

K předzpracování obrazu mediánovou filtrací před jeho segmentací byl v Matlabu použit příkaz `medfilt2.m`. V případě vzorků z komorového žmolkovacího přístroje jak je uvedeno na příkladu na obrázku 15, při velikost masky mediánového filtru 3×3 pixely, obrázek 15(b), (c), zůstávaly stále zachovány v obraze nepatrné zbytky detailů o struktuře vazby a šum nebyl zcela potlačen. Naopak byl tento šum

v obraze při jeho dalším zpracování prahováním zvýrazněn. Použitím masky filtru o velikosti 7×7 pixelů, obrázek 15(d), (g), došlo k odstranění nejen šumu, ale i některých bodů, které tak způsobily ztrátu informací o sledovaných objektech z obrazu tkaniny. Jako nejvhodnější byl tak zvolen filtr s velikostí okolí 5×5 pixelů, obrázek 15(c), (f). V případě vzorků z přístroje Martindale byla použita maska o velikosti 3×3 pixely. Vzhledem k velmi malé velikosti vytvořených žmolků u tohoto typu ve srovnání s vytvořenými žmolky z komorového žmolkovacího přístroje by použitím větší mediánové masky byly některé žmolky zaměněny za šum a došlo k jejich ztrátě. Velikost masky je nutné určovat individuálně podle rozsahu šumu v konkrétním obraze s ohledem ke struktuře tkaniny a případně daným objektům.



Obr. 15. (a) Výchozí obraz zrekonstruované neperiodické struktury, (b) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 3×3 , (c) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 5×5 , (d) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 7×7 , (e), (f), (g) binární obrazy po filtraci mediánovým filtrem s hodnotou prahu $T = 0,6$.

9.2.5 Extrakce žmolků

Předpokladem k tomuto kroku byl jako vstupní obraz použit obnovený obraz neperiodické struktury z obrazu žmolkované tkaniny dvourozměrnou diskrétní Fourierovou transformací zbavený šumu a zbytkových informací o struktuře vazby tkaniny filtrací pomocí mediánového filtru.

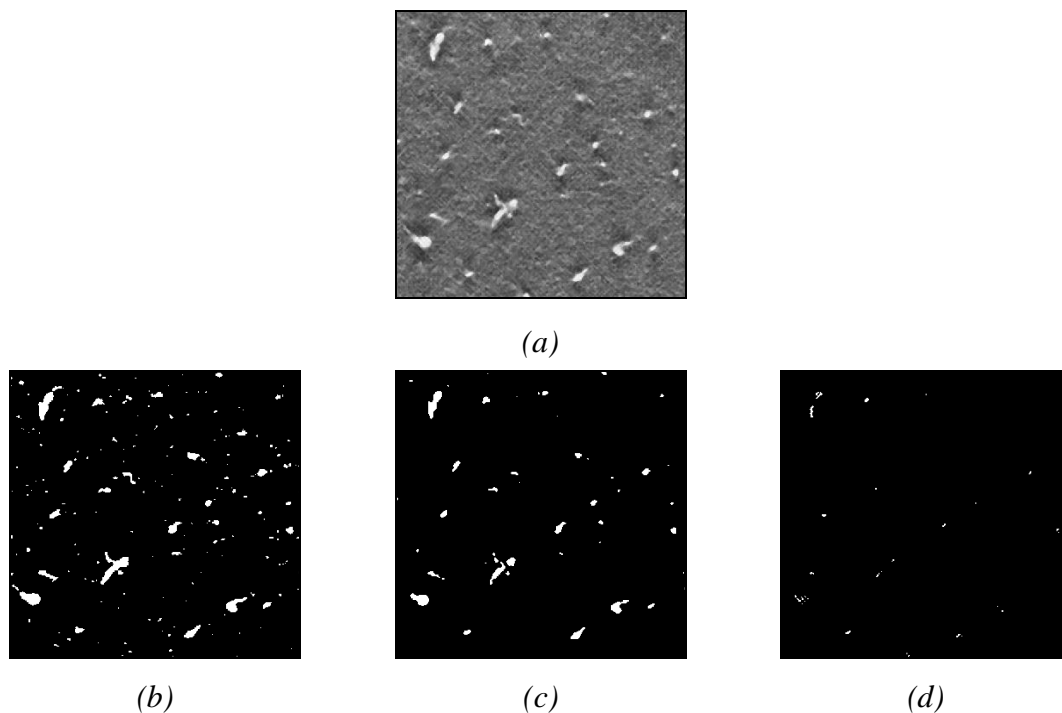
Aby bylo možné objekty zájmu, v tomto případě žmolky na povrchu tkaniny, vyhodnotit a určit vybrané vlastnosti těchto objektů bylo použito segmentace obrazu, která odděluje objekty zájmu od pozadí v celé jejich ploše prahováním obrazu podle vztahu [19]

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 \rightarrow g(x, y) \geq T \\ 0 \rightarrow g(x, y) < T \end{cases} \quad (8)$$

kde $f(x, y)$ je vstupní obraz, $g(x, y)$ výstupní obraz a T je zvolená prahová hodnota. Nalezení vhodného prahu je pro segmentaci objektů velmi důležité. Je možné jej určovat interaktivně nebo některou z automatických metod. Pixely, kterých hodnota jasu je větší nebo rovna určenému prahu považujeme za pixely hledaných oblastí objektů. Pixely s hodnotou nižší než určený práh považujeme za prvky pozadí. Výstupním obrazem operace prahování je tedy binární obraz, kde segmentované oblasti jsou totožné s oblastmi zájmu na vstupním nasnímaném obraze. Úspěšnost prahování je do větší míry závislá na správném stanovení prahové hodnoty. Její nesprávné určení způsobuje nepřesnosti v segmentovaném obraze a dochází tak k negativnímu ovlivnění celého procesu analýzy.

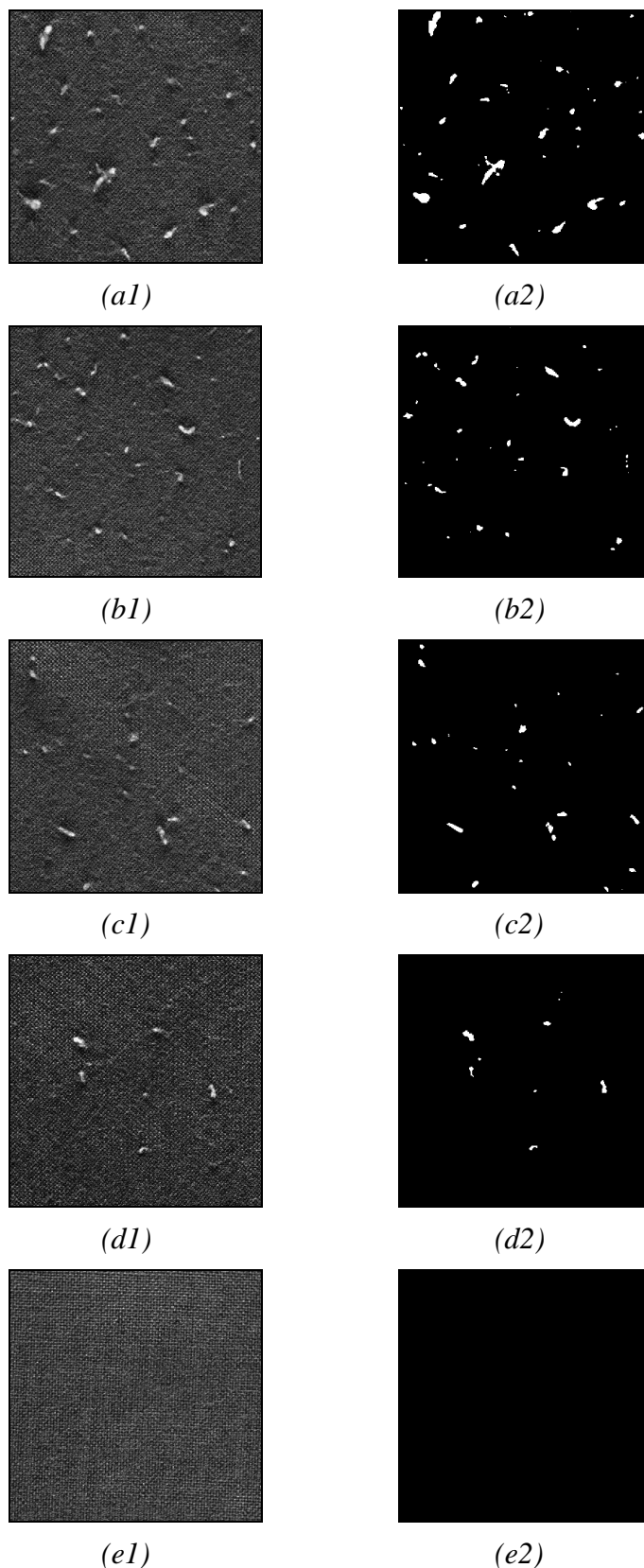
Obrazy byly po mediánové filtraci prahovány v Matlabu pomocí zavedené funkce *im2bw.m*. Úroveň prahu T byla určena experimentálně z intervalu hodnot $\langle 0; 1 \rangle$ a pohybovala se v tomto případě pro jednotlivé obrazy v rozmezí hodnot 0,57 - 0,74. Výsledný binární obraz obsahoval žmolky zobrazené jako bílé objekty (pixely jejichž hodnota jasu je větší nebo rovna než stanovený práh T nahrazeny pixelem s hodnotou 1) na černém pozadí (pixely jejichž hodnota jasu je menší než stanovený práh T nahrazeny pixelem s hodnotou 0). Příklady segmentace obrazu s různými hodnoty prahu jsou znázorněny na obrázku 16.

Obrázek 16 zobrazuje výsledky segmentace v binárních obrazech pro hodnoty s nízkým, vysokým a správným prahem v porovnání se vstupním obrazem na příkladu vzorku tkaniny z komorového žmolkovacího přístroje. Nejlepší výsledek byl v tomto případě dosažen s prahovou hodnotou $T = 0,6$.

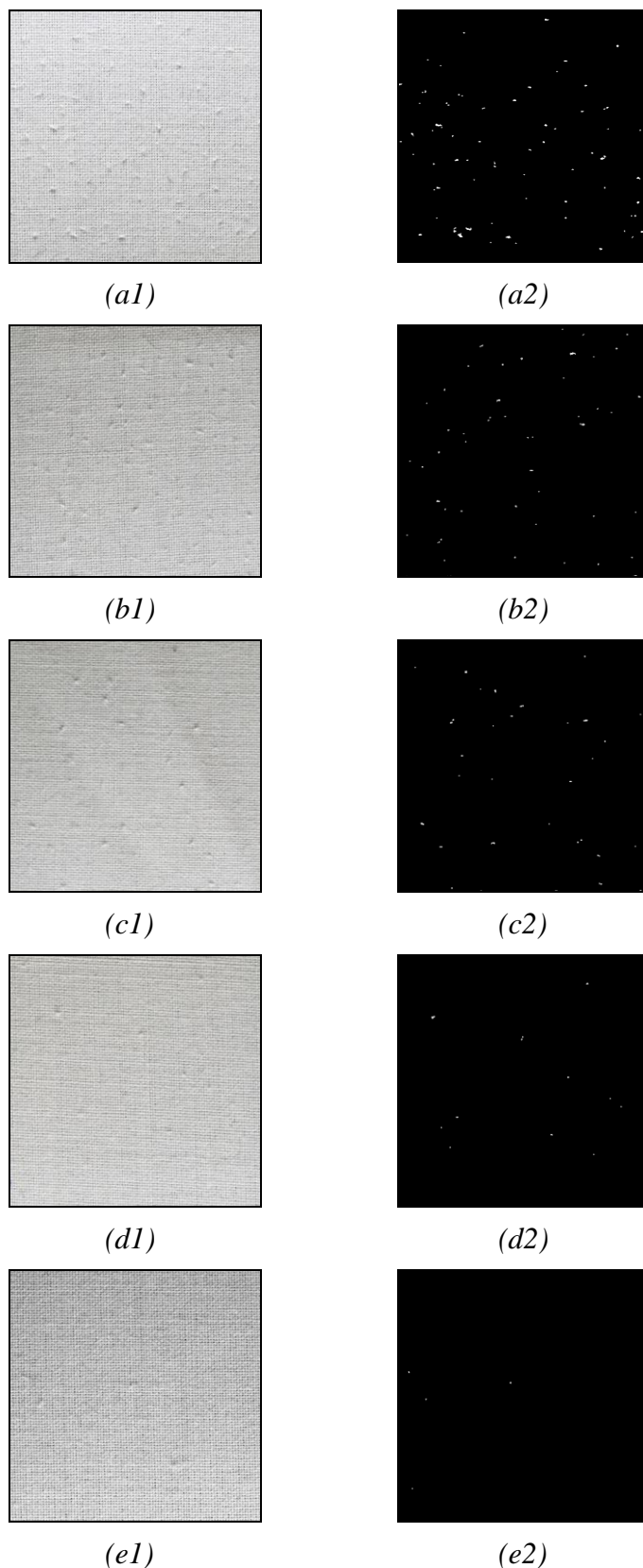


Obr. 16. (a) Výchozí obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 5×5 , (b) binární obraz po segmentaci prahováním s nízkým prahem ($T = 0,5$), (c) binární obraz po segmentaci prahováním se správným prahem ($T = 0,6$), (d) binární obraz po segmentaci prahováním s vysokým prahem ($T = 0,8$).

Po procesu segmentace obrazu tvoří jednotlivé žmolky v binárním obraze uzavřené oblasti. Některé žmolky však mohou zasahovat přes okraje obrazu. Ty netvoří kompletní objekty a určení jejich vlastností by tak poskytovalo zkreslené informace. Z toho důvodu je bylo pro další zpracování nutné odstranit. Úprava, která potlačuje objekty připojené k hranici obrazu je v Matlabu zastoupena funkcí *imclearborder.m*. Po segmentaci obrazu je dále nutné z obrazu odstranit objekty s plochou menší než 4 pixely, které jsou v obrazech považovány za zbytkový vizuální šum. K tomu bylo využito morfologické operace otevření, v Matlabu pomocí zavedeného příkazu *bwareaopen.m*. Zadáním parametru velikosti oblasti, která má být ignorována se objekty menší než zadaný parametr nenačtou do výsledné matice a jsou tak z obrazu odstraněny. Výstupem těchto úprav je podle zadaných parametrů binární obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely nebo obraz s objekty zobrazenými ve stupních šedi.



Obr. 17. (a1) - (e1) Obrazy pěti stupňů žmolkovitosti z komorového žmolkovacího přístroje, (a1) 1. stupeň, velmi silná žmolkovitost, (b1) 2. stupeň, silná žmolkovitost, (c1) 3. stupeň, střední žmolkovitost (d1) 4. stupeň, mírná žmolkovitost, (e1) 5. stupeň, žádná žmolkovitost, (a2) - (e2) binární obrazy stupňů žmolkovitosti.



Obr. 18. (a1) - (e2) Obrazy pěti stupňů žmolkovitosti z přístroje Martindale, (a1) 1. stupeň, velmi silná žmolkovitost, (b1) 2. stupeň, silná žmolkovitost, (c1) 3. stupeň, střední žmolkovitost (d1) 4. stupeň, mírná žmolkovitost, (e1) 5. stupeň, žádná žmolkovitost, (a2) - (e2) binární obrazy stupňů žmolkovitosti.

Obrázky 17(a1) - (e1) a 18(a1) - (e1) zobrazují vstupní obrazy všech pěti stupňů žmolkovitosti z komorového žmolkovacího přístroje a přístroje Martindale. Jejich binárními obrazy po segmentaci obrazu prahováním a po výše zmíněných úpravách jsou znázorněny na obrázku 17(a2) - (e2) a 18(a2) - (e2), z kterých jsou následně extrahovány jednotlivé charakteristiky žmolkovitosti.

9.3 Charakteristiky žmolkovitosti

Mezi hlavní charakteristiky žmolkovitosti, podle kterých může být následně žmolkovitost vyhodnocována, jsou zařazeny podle [1] a [5]:

- počet žmolků,
- velikost žmolků,
- hustota žmolků,
- a kontrast žmolků.

Všechny tyto charakteristiky popisují míru žmolkovitosti nebo vlastnosti žmolků, které byly po extrakci žmolků objektivně měřeny. Zjišťování charakteristik žmolkovitosti vychází z binárních obrazů a z předem provedených úprav.

9.3.1 Počet žmolků

Počet žmolků n je důležitým faktorem ovlivňující hodnocení žmolkovitosti a výsledný vzhled textilií. Jednoduše je měřen spočítáním bílých objektů z binárního obrazu nasnímané tkaniny. Za jednotlivé objekty v obraze jsou považovány množiny vzájemně sousedících pixelů, zobrazených v binárních obrazech hodnotou 1. Pro správný počet žmolků je důležité rozeznat a nezaměňovat objekty žmolků s možnými zbylými prvky šumu.

Pro automatické označení žmolků pořadovým číslem a k určení jejich počtu z povrchu textilie bylo v Matlabu využito funkce *bwlabel.m*. Tato funkce vyhledává a identifikuje jednotlivé oblasti z pozadí obrazu a přiřazuje každému z nich pořadové číslo z intervalu hodnot $<1; n>$, kde n je počet objektů. Při definování oblastí touto funkcí je rozlišována tzv. čtyřsousednost a osmisousednost. Při čtyřsousednosti spolu dva pixely sousedí, mají-li společnou stranu. V případě osmisousednosti jsou za

sousední prvky považovány pixely, které kromě sousedících stran mohou sousedit i svými rohy [18].

Obrázek 19(a) zobrazuje příklad matice segmentovaného binárního obrazu. Matice obrazu upraveného funkcí *bwlabel.m* je zobrazena na obrázku 19(b). Pozadí je stejně jako u binárního obrazu tvořeno pixely s hodnotou 0. Pixely s přiřazenou hodnotou 1 tvoří první objekt, pixely s hodnotou 2 jsou přiřazeny druhému objektu atd. podle počtu objektů. Obrázek 19(b) zobrazuje celkem 4 objekty.

0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	1	1

(a)

0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	2	2
0	1	0	0	0	2	0
0	0	0	0	0	2	2
3	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	4
0	0	0	0	0	4	4
0	0	0	0	0	4	4

(b)

Obr. 19. (a) Matice segmentovaného obrazu (b) matice obrazu upraveného funkcí *bwlabel.m*.

9.3.2 Velikost žmolků

Velikost žmolků je dalším kritériem při hodnocení žmolkovitosti a má vliv na vzhled žmolků. Velikost žmolků je určována pomocí dvou charakteristik. Jako plocha S_i jednotlivých žmolků převedená z pixelů na mm^2 a jako jejich obvod O_i také stejně jako plocha převedený z pixelů a vyjádřený v mm . Z těchto charakteristik mohou být vypočteny další statistické údaje popisující žmolkovitost jako je např. celková plocha žmolků, jejich průměrná plocha, poměr celkové plochy žmolků na plochu tkaniny a další.

Pro měření charakteristik zkoumaných objektů, označených pomocí funkce *bwlabel.m*, ze struktury obrazu existuje v Matlabu funkce pod názvem *regionprops.m*. Spolu s touto obecnou funkcí jsou používány další zavedené funkce podle požadovaných vlastností, které mají být měřeny. Pro velikosti ploch to je příkaz *area.m* a pro obvody žmolků příkaz *perimeter.m*. Výsledkem jsou hodnoty uložené pod proměnnou v poli buněk jako strukturní matice.

9.3.3 Hustota žmolkovitosti

Hustota žmolkovitosti D je definována jako množství žmolků n vyskytujících se na definované jednotku plochy na povrchu textilie. Jde o nejčastější první dojem, který hodnotitel získá při subjektivním hodnocení ze žmolkované textilie.

V případě objektivního hodnocení je nejčastěji odhadována jako poměr počtu žmolků na zvolenou jednotku plochy, dále značená jako D_I . Jednotka plochy, na kterou byla hustota žmolkovitosti určována, byla zvolena jako rozměr zpracovávaného obrazu, který odpovídá po převedení z pixelů na absolutní jednotky velikosti 5×5 cm. Toto hodnocení hustoty žmolkovitosti je závislé na přesném dodržení velikosti vybrané plochy k jejímu určení.

Dalším způsobem ke stanovení hustoty žmolkovitosti je metoda založená na vzdálenosti žmolků k jejich nejbližším sousedům, kdy je v obraze vygenerováno stanovené množství náhodných bodů a jsou hledány vzdálenosti k nejbližší se vyskytujícím žmolům. Od určeného počtu vygenerovaných bodů n , jsou nalezeny vzdálenosti k nejbližším žmolům. Tyto vzdálenosti jsou označeny jako r_i . Uvnitř kruhu o poloměru r_i se vyskytuje vždy pouze jeden žmolek. Od takto nalezených žmolů jsou hledány další nejbližší žmolky a jejich vzdálenosti mezi takto nalezenými žmolky jsou označeny jako x_i . Uvnitř kruhu, jehož poloměr je x_i se vyskytují žmolky dva. Vzdálenosti mezi žmolky jsou určovány délkou mezi jejich těžišti pomocí Euklidovské vzdálenosti D_E jako přímá vzdálenost dvou bodů daných souřadnicemi (x, y) a (i, j) podle vztahu [15]

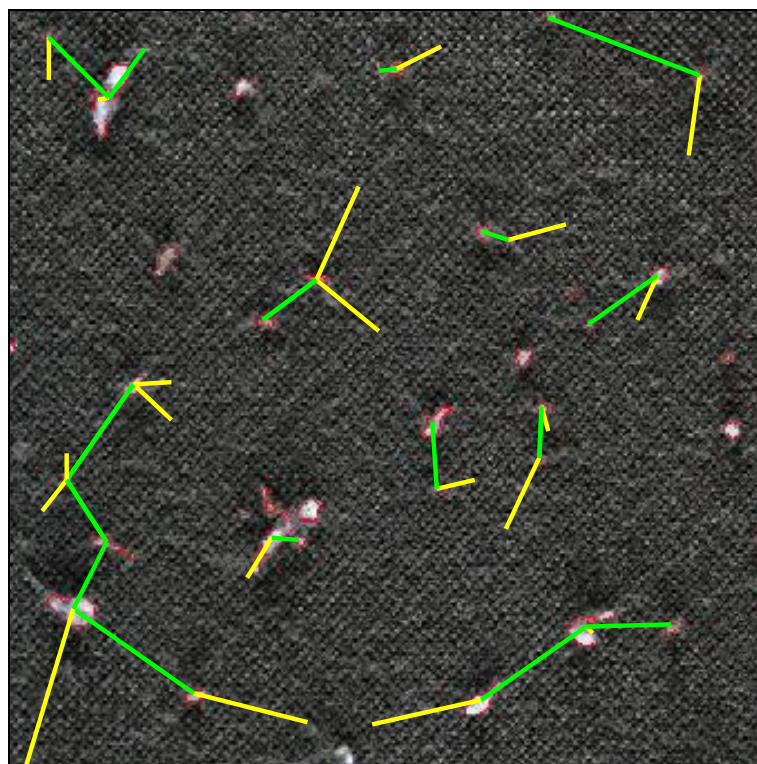
$$D_E((x, y), (i, j)) = \sqrt{(x-i)^2 + (y-j)^2}. \quad (9)$$

K nalezení těžiště objektu slouží v Matlabu již zmíněná obecná funkce *regionprops.m* a spolu s ní zavedená funkce *centroid.m*. Pomocí funkce *pdist.m* jsou následně počítány podle zvolené metody vzdálenosti mezi těžišti a jednotlivými žmolky. Metoda určení vzdálenosti pomocí Euklidovské vzdálenosti je v Matlabu zastoupena funkcí *euclidean.m*. Z počtu vygenerovaných bodů n a určených vzdáleností r_i a x_i je tento způsob určení a hustota žmolkovitosti D_2 vyjádřena vztahem [1,5]

$$D_2 = \frac{\sqrt{2n}}{\pi \sqrt{\sum (r_i^2) \sum (x_i^2)}}. \quad (10)$$

Na základě experimentálního ověření bylo zjištěno, že počet generovaných bodů nemá vliv na výsledky hustoty žmolkovitosti. Je možné tak stanovit libovolný počet těchto bodů pro tuto charakteristiku. Vzhledem k tomu, že rozmístění generovaných bodů je v obraze náhodné, je určen minimální počet generovaných počtů bodů na pět. Maximální počet byl vzhledem k velikosti obrazu a počtu žmolků stanoven na sto bodů. Pro vyhodnocení žmolkovitosti bylo v tomto případě použito celkem dvacet náhodně rozmístěných vygenerovaných bodů.

Obrázek 20 zobrazuje příklad nalezení nejbližších Euklidovských vzdáleností mezi vygenerovanými náhodnými body a těžišti objektů k určení hustoty žmolkovitosti v programovém prostředí Matlab pomocí zmíněných funkcí. Nejbližší vzdálenosti r_i zobrazují v obraze žluté úsečky, vzdálenosti x_i úsečky zelené. Červeně jsou v obraze zvýrazněny obvody jednotlivých nalezených žmolků.



Obr. 20. Nalezení nejbližších Euklidovských vzdáleností mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů.

9.3.4 Kontrast

Kontrast G mezi žmolkem a jeho pozadím v obraze odráží výšku žmolku. Je určován z monochromatického obrazu ve stupních šedi jako poměr intenzity mezi sledovanými objekty a jejich pozadím, resp. jejich okolím.

Pro měření kontrastu bylo použito úpravy ze skupiny morfologických operací, konkrétně operace dilatace. Dilatací jsou objekty zájmu zvětšeny na úkor pozadí o několik vrstev. Dilatace a další morfologické operace jsou dány relacemi mezi obrazem s typicky menší bodovou množinou, kterou nazýváme strukturním elementem. Tento strukturní element je vztažen k určitému reprezentativnímu bodu, který systematicky přechází přes celý obraz a výsledek relace zapisuje do nové výstupní matice [15].

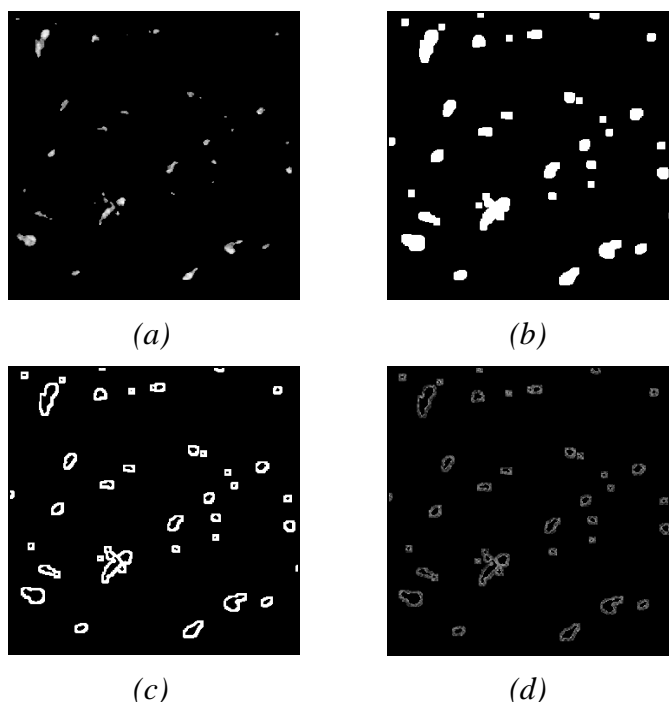
Kontrast G byl získán jako poměr průměrné hodnoty šedi žmolků g_p a průměrné hodnoty šedi jejich okolí g_b .

$$G = \frac{g_p}{g_b} \quad (11)$$

Pro určení této charakteristiky byl nejprve binární obraz, zobrazený na obrázku 16(c), pronásoben původním monochromatickým obrazem, zobrazeným na obrázku 16(a). Objekty v binárním obraze tak získaly zpět hodnoty monochromatického obrazu ve stupních šedi jak je vidět z obrázku 21(a), z kterých byla vypočítána jejich průměrná hodnota úrovně jasu g_p .

K určení velikosti okolí žmolků byla nejprve definována velikost strukturního elementu. K tomu byla využita v Matlabu funkce *strel.m*, umožňující vytvoření elementů různých tvarů, v tomto případě čtverce o velikosti 10×10 . Takto vytvořený strukturní element byl aplikován na binární obraz pomocí morfologické operace dilatace vyvolané příkazem *imdilate.m*. Po dilataci, rozšíření všech objektů, jak je vidět z obrázku 21(b), je od této nové matice odečten původní binární obraz a je tak generován nový obraz zobrazující obklopující okolí žmolků na obrázku 21(c). Pro výpočet průměrné hodnoty úrovně šedi tohoto okolí je tento obraz vynásoben původním

monochromatickým obrazem. Výsledný obraz pro výpočet průměrné hodnoty úrovně šedi okolí žmolků g_b je znázorněn na obrázku 21(d).



Obr. 21. (a) Binární obraz vynásobený obrazem monochromatickým, (b) dilatovaný binární obraz, (c) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků, (d) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků vynásobený monochromatickým obrazem.

Jednotlivé obrazy všech pěti stupňů žmolkovitosti z komorového žmolkovacího přístroje i přístroje Martindale, které byly postupně výstupem a zároveň v některých případech i vstupem jednotlivých operací a které sloužily pro vytvoření šablony k vyhodnocení žmolkovitosti, jsou uvedeny v příloze 1.

9.4 Vyhodnocení stupňů žmolkovitosti

Aby mohly být následně vyhodnocovány další textilie do jednotlivých tříd žmolkovitosti pomocí vytvořené metody objektivního hodnocení, bylo nutné stanovit vztahy mezi jednotlivými stupni žmolkovitosti a jednotlivými charakteristikami vypočtených z tkanin použitých k tvorbě algoritmu. Ty splňovaly podmínku všech pěti stupňů žmolkovitosti v souladu s normami hodnocení žmolkovitosti pomocí fotografických etalonů. Konkrétní výsledky jednotlivých charakteristik z těchto obrazů pěti stupňů žmolkovitosti pro komorový žmolkovací přístroj a pro přístroj Martindale podle vytvořeného algoritmu, jsou uvedeny v tabulkách 7 a 8.

Tab. 7. Charakteristiky pěti stupňů žmolkovitosti pro komorový žmolkovací přístroj.

Stupeň žmolkovitosti	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha \bar{S} [mm ²]	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků S_p [%]	Průměrný obvod \bar{O} [mm]	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
1	47	0,217	0,305	10,18	0,009	1,41	1,63	3,19	3,09	0,387	13,72	0,0188	0,0216	2,36
2	38	0,145	0,180	5,52	0,009	0,81	0,88	2,56	2,14	0,467	9,15	0,0152	0,0159	2,48
3	25	0,179	0,155	4,47	0,009	0,61	0,71	3,04	1,86	0,387	8,00	0,0100	0,0111	2,28
4	8	0,232	0,204	1,85	0,014	0,59	0,30	3,82	2,35	0,660	6,71	0,0032	0,0053	2,82
5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pozn. Vstupní velikost obrazu 2165 × 2165 px, kalibrace 1 px = 0,0242 mm, mediánová maska 5 × 5, 1. st. - $T_1=0,7$, $T_2=0,6$, 2. st. - $T_1=0,7$, $T_2=0,64$, 3. st. - $T_1=0,7$, $T_2=0,64$, 4. st. - $T_1=0,7$, $T_2=0,66$, 5. st. - $T_1=0,7$, $T_2=0,66$.

Tab. 8. Charakteristiky pěti stupňů žmolkovitosti pro přístroj Martindale.

Stupeň žmolkovitosti	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha \bar{S} [mm ²]	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků S_p [%]	Průměrný obvod \bar{O} [mm]	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
1	76	0,031	0,023	2,35	0,013	0,115	0,375	1,03	0,632	0,452	3,17	0,0304	0,0308	1,12
2	54	0,024	0,018	1,30	0,013	0,089	0,208	0,84	0,534	0,452	2,71	0,0216	0,0246	1,12
3	38	0,025	0,014	0,93	0,013	0,061	0,149	0,85	0,433	0,452	1,84	0,0152	0,0147	1,10
4	14	0,026	0,012	0,30	0,013	0,057	0,048	0,74	0,373	0,452	1,77	0,0056	0,0059	1,09
5	5	0,017	0,004	0,08	0,013	0,022	0,013	0,65	0,144	0,452	0,77	0,0020	0,0015	1,10

Pozn. Vstupní velikost obrazu 1866 × 1866 px, kalibrace 1 px = 0,0283 mm, mediánová maska 3 × 3, 1. st. - $T_1=0,65$, $T_2=0,57$, 2. st. - $T_1=0,67$, $T_2=0,63$, 3. st. - $T_1=0,7$, $T_2=0,64$, 4. st. - $T_1=0,67$, $T_2=0,74$, 5. st. - $T_1=0,64$, $T_2=0,64$.

Jak je vidět z tabulky 7 i 8 hodnoty počtu žmolků n , celkové plochy S_c v mm^2 a hustoty D_1 i D_2 se s klesajícím stupněm žmolkovitosti postupně snižují. Naopak charakteristiky velikosti jako jsou konkrétně hodnoty průměrné plochy žmolků \bar{S} a hodnoty průměrného obvodu žmolků \bar{O} spolu s parametrem kontrastu žmolků G nevykazují sestupný trend s jednotlivými stupni. Charakteristiky průměru pro objektivní hodnocení nejsou ideální, protože mohou být v řadě případů zkreslující způsobené variabilitou ve velikosti vyskytujících se žmolků v jednotlivých stupních žmolkovitosti jak je tomu i v tomto případě. Nespolehlivost kontrastu pro objektivní hodnocení žmolkovitosti je způsobena rozdílnou kvalitou fotografií vzorků resp. jejich rozdílnými jasovými hodnotami v obraze. Tyto charakteristiky jsou tedy pro hodnocení žmolkovitosti textilií nevhodné, nelze je považovat za objektivní charakteristiky.

Použitím metody lineární regrese jsou z charakteristik, které se s jednotlivými stupni žmolkovitosti postupně snižují, stanoveny regresní modely a zároveň tak tedy regresní funkce, které tuto závislost jednotlivého stupně na konkrétní popisné charakteristice popisují. Lineární závislost charakteristik vycházející z hodnoty koeficientů determinance R^2 je ve všech modelech dostatečně vysoká aby mohly být stanoveny spolehlivé vztahy. Níže jsou uvedeny vztahy $y_1 - y_4$ pro hodnocení stupně žmolkovitosti podle počtu žmolků n (12), celkové plochy S_c v mm^2 (13), a z hustoty D_1 (14), a D_2 (15) pro hodnocení vzorků z komorového žmolkovacího přístroje a stejně tak i pro vzorky z přístroje Martindale (16) - (19). Proměnná x je v jednotlivých vztazích naměřená hodnota příslušného parametru a y objektivní stupeň žmolkovitosti.

$$y_1 = 4,88 - 0,0796x \quad (12)$$

$$y_2 = 4,75 - 0,3969x \quad (13)$$

$$y_3 = 4,89 - 199,08x \quad (14)$$

$$y_4 = 5,00 - 185,76x \quad (15)$$

$$y_1 = 5,02 - 0,05412x \quad (16)$$

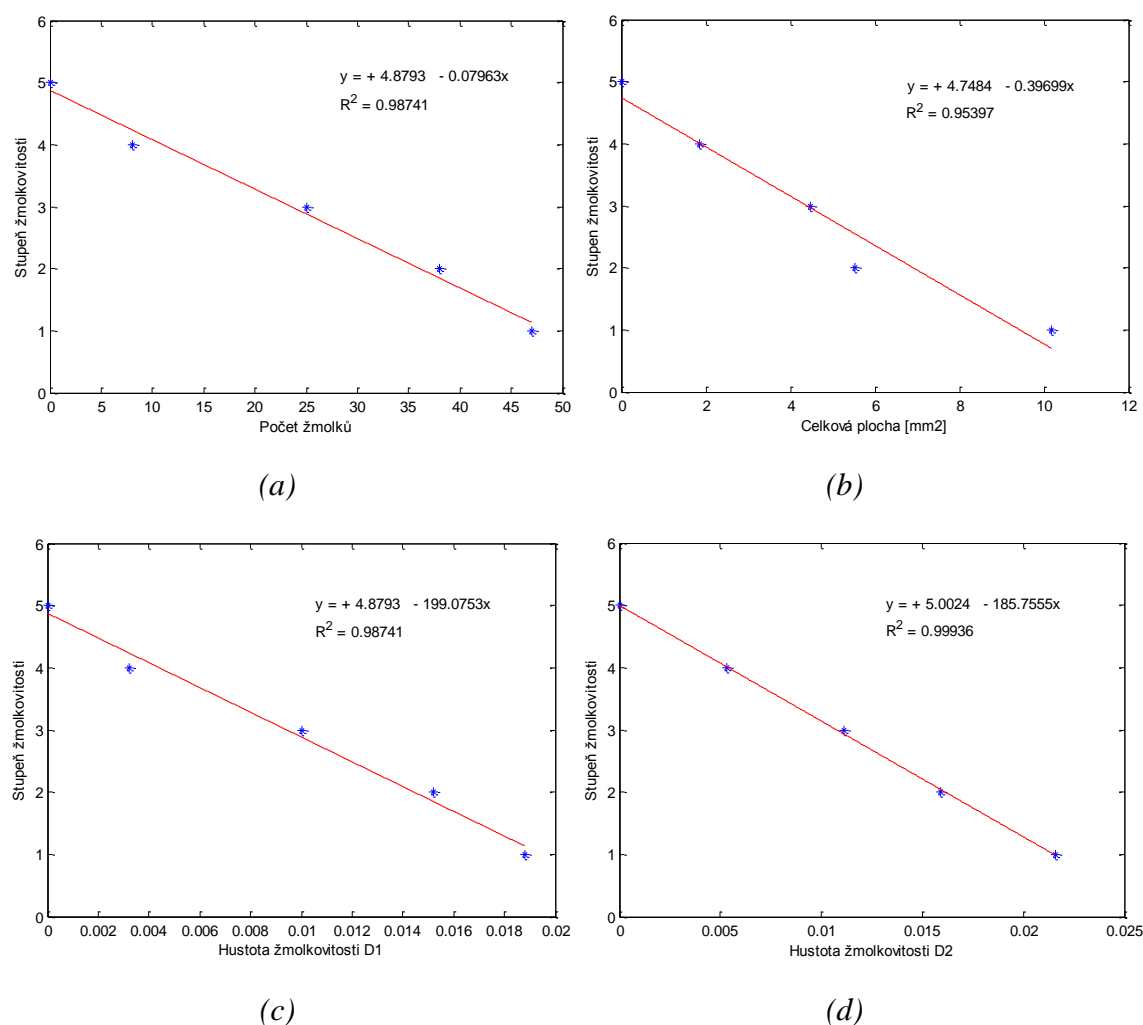
$$y_2 = 4,69 - 1.706x \quad (17)$$

$$y_3 = 5,02 - 135,288x \quad (18)$$

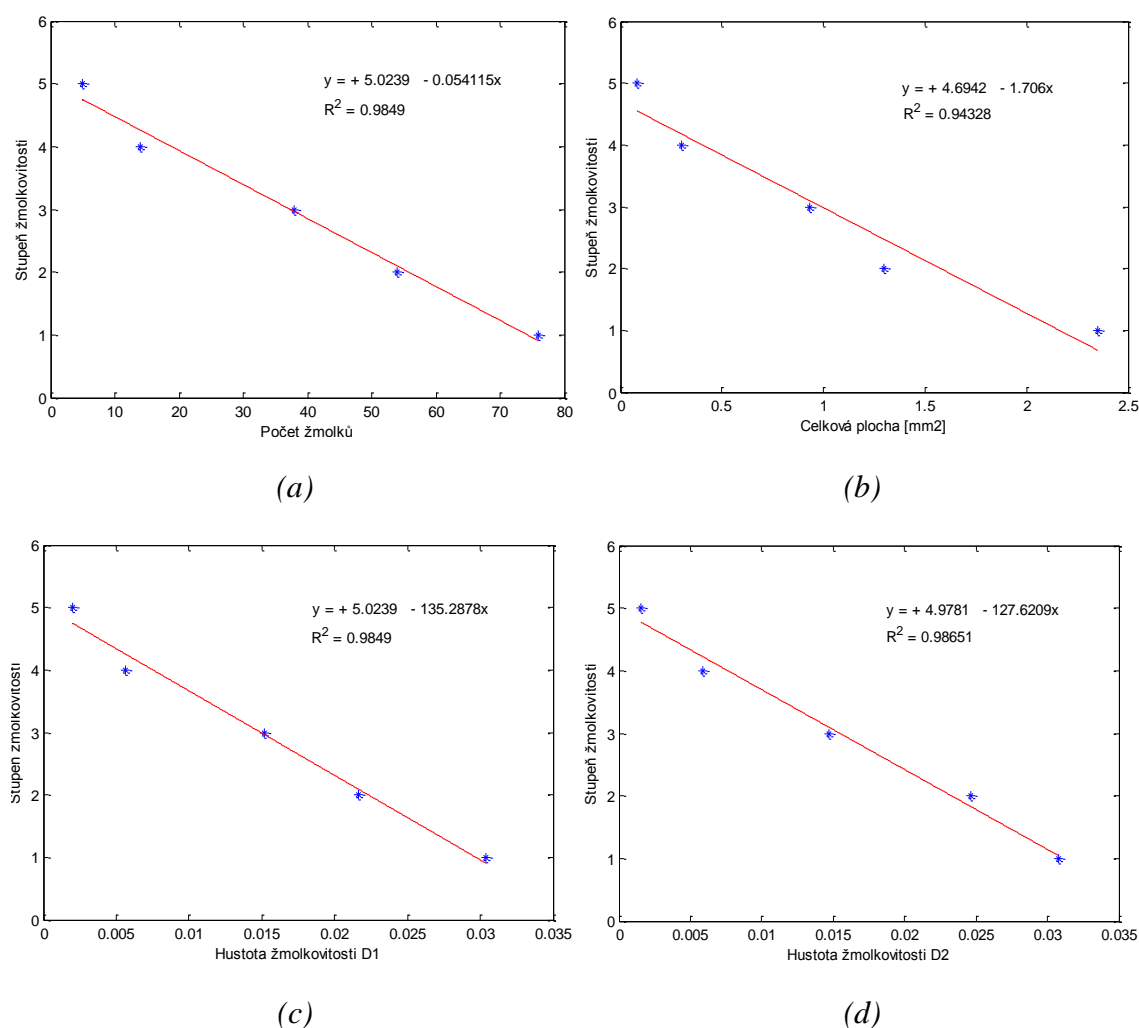
$$y_4 = 4,98 - 127,621x \quad (19)$$

Výše uvedenými výpočetními vztahy jsou určovány jednotlivé stupně žmolkovitosti pro konkrétní zvolenou objektivní charakteristiku. Pro přesnější konečné vyjádření výsledného stupně žmolkovitosti textilií je určován jako průměrná hodnota ze stupňů pro jednotlivé charakteristiky $y_1 - y_4$ jako Y .

Jednotlivé modely lineární regrese znázorňující závislost mezi stupni žmolkovitosti a objektivními charakteristikami, z kterých byly získány vztahy pro objektivní hodnocení žmolkovitosti, jsou zobrazeny na obrázku 22(a) - (d) pro komorový žmolkovací stroj a pro přístroj Martindale na obrázku 23(a) - (d).



Obr. 22. Vzájemný vztah mezi jednotlivými stupni žmolkovitosti a charakteristikami žmolkovitosti pro komorový žmolkovací přístroj.

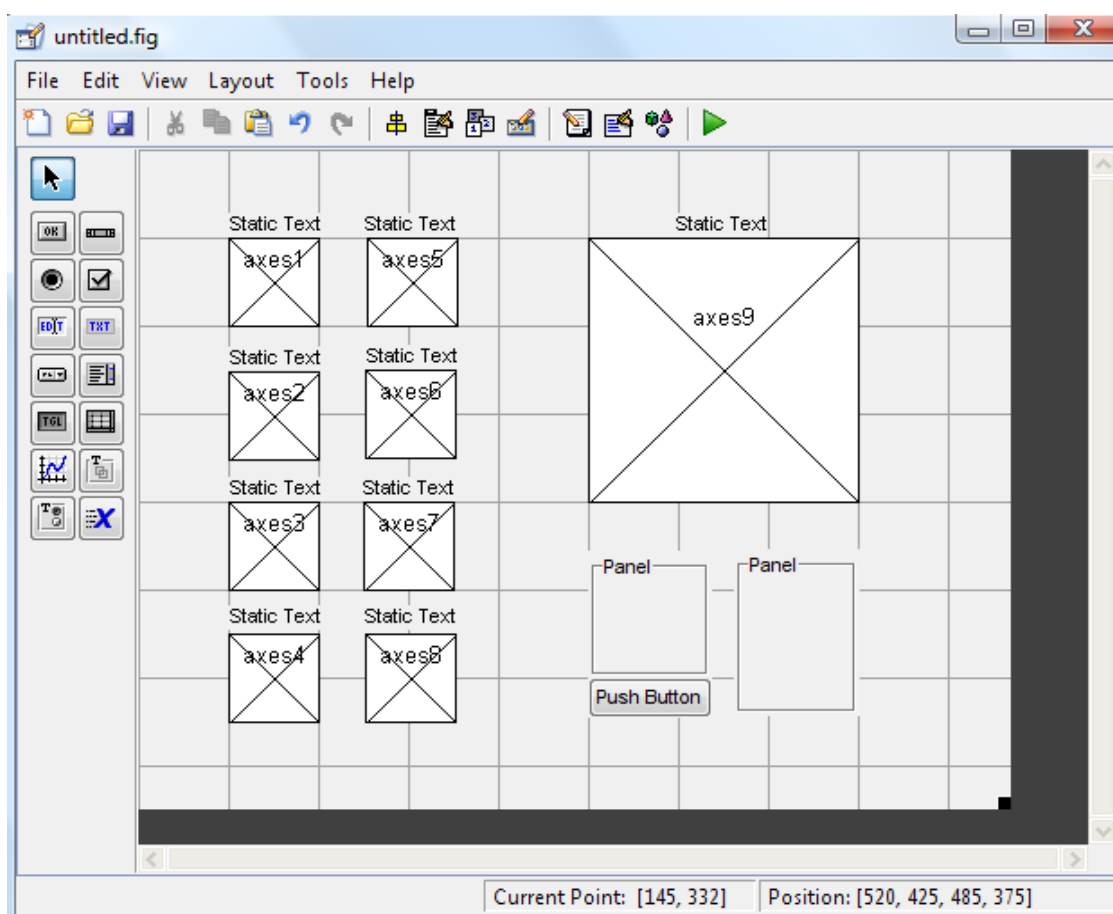


Obr. 23. Vzájemný vztah mezi jednotlivými stupni žmolovitosti a charakteristikami žmolovitosti pro přístroj Martindale.

9.5 Grafické uživatelské prostředí GUI

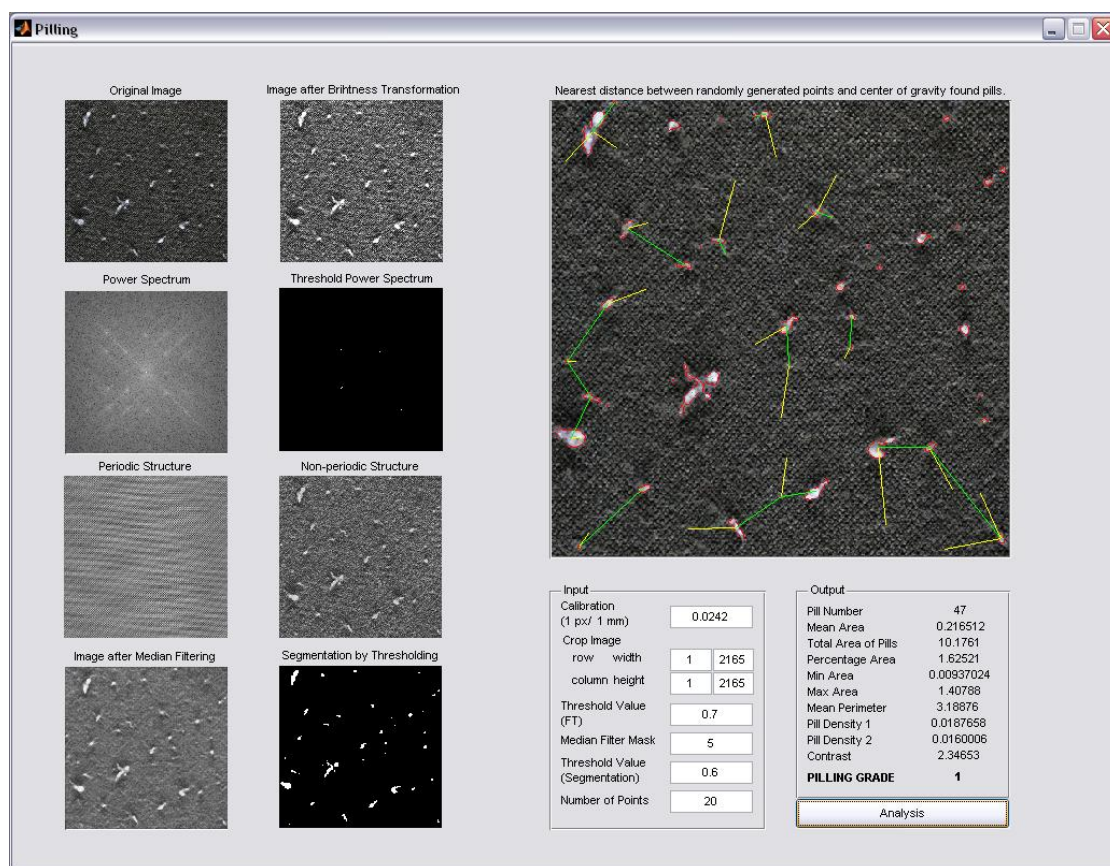
Na základě výše popsaného postupu a jednotlivých operací pomocí funkcí k nim použitých, kde hlavní z nich byly uvedeny postupně v kapitole 9.2 a 9.3 byl vytvořen v prostředí Matlab funkční program pro objektivní hodnocení žmolkovitosti s využitím metod obrazové analýzy s názvem *Pilling.m*. Celý zdrojový kód programu je uveden v této práci v příloze 2 a na CD.

Pro jednoduché, účelné a pohodlné ovládání a práci uživatele s vytvořeným programem bylo vytvořeno v programu Matlab grafické uživatelské prostředí pro hodnocení textilií z komorového žmolkovacího přístroje i přístroje Martindale. K vytváření jednotlivých grafických prvků slouží v Matlabu integrovaný nástroj GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*) jehož prostředí je zobrazeno na obrázku 24.



Obr. 24. Grafické prostředí GUIDE pro tvorbu GUI.

Grafické okno vytvořeného rozhraní je složeno z několika objektů. V jeho levé a v pravé horní části jsou umístěny okna s popisy pro zobrazení jednotlivých obrazů, které jsou postupně výstupem prováděných operací vytvořeného algoritmu. Ty slouží k průběžnému sledování obrazů pro ilustraci a pro nastavení co nejvhodnějších parametrů jednotlivých úprav. Dále obsahuje panel *Input* s několika poli pro zadání vstupních parametrů. Konkrétně pole pro kalibraci 1 px, pole pro výřez velikosti obrazu, nastavení hodnoty prahu pro filtraci Fourierova spektra, nastavení velikosti mediánové masky, hodnoty prahu pro segmentaci obrazu a pole pro stanovení počtu generovaných bodů v obraze pro výpočet hustoty žmolkovitosti. Celý program je pak spouštěný tlačítkem *Analysis*. Jeho stisknutím dojde nejprve k otevření adresáře s vstupními obrazy uložených v počítači, kde po výběru vzorku z adresáře dojde zároveň k zavolání jednotlivých funkcí z algoritmu a program je tedy automaticky spuštěn. V panelu *Output* jsou zobrazeny výsledky jednotlivých měřených charakteristik analyzovaného vzorku textilie včetně jeho určeného výsledného stupně žmolkovitosti. Výsledná podoba uživatelského rozhraní pro objektivní hodnocení žmolkovitosti je zobrazena na obrázku 25.



Obr. 25. Uživatelské rozhraní programu pro objektivní hodnocení žmolkovitosti.

10 Objektivní vyhodnocení žmolkovitosti tkanin pomocí vytvořeného algoritmu

Pomocí vytvořeného algoritmu, uživatelského rozhraní a stupňovitěho modelu hodnocení žmolkovitosti určeného pomocí lineární regrese můžeme objektivně vyhodnotit další typy tkanin. K vyhodnocení byly použity tkaniny z testovací sady vzorků uvedené v kapitole 7, které byly již vyhodnoceny subjektivní metodou v kapitole 8. Následně je tak možné ověřit použitelnost vytvořeného algoritmu a srovnat výsledky těchto dvou způsobů hodnocení. Konkrétní výsledky naměřených objektivních charakteristik jsou uvedeny v tabulce 9 pro vzorky, které byly testované na komorovém žmolkovacím přístroji a v tabulce 10 pro vzorky zkoušené na přístroji Martindale. Pro přiřazení výsledného stupně žmolkovitosti každému vzorku textilie byly stanoveny celkem čtyři charakteristiky, jak je uvedeno v kapitole 9.4. Pro každou z těchto charakteristik byly nejprve určeny jednotlivé stupně pomocí příslušných vztahů, z kterých byl následně výsledný stupeň textilie určen jejich aritmetickým průměrem. Stupně žmolkovitosti přiřazené zkoušeným textiliím jsou uvedeny v tabulce 11 z komorového žmolkovacího přístroje a v tabulce 12 z přístroje Martindale.

Tkaniny použité k vyhodnocení žmolkovitosti byly výhradně jednobarevné a tedy i nevzorované s výjimkou materiálu číslo 2 a 5. Tyto vzorky materiálu byly na rozdíl od ostatních složeny z přízí z odlišných barev v odstínech šedé v osnovním i útkovém směru. Na povrchu textilie těchto vzorků tak dochází ke vzniku jemně melírovaného efektu. Žmolky vytvořené na povrchu tkaniny z komorového žmolkovacího přístroje jsou díky přidávaným bavlněným vláknům během zkoušky kontrastní od pozadí tkaniny. Jejich segmentace prahováním tak nezpůsobovala neodstranitelné problémy a žmolky tak bylo možné i z těchto tkanin oddělit od pozadí textilie a to i díky jejich velikosti. Žmolky vytvořené na tkaninách z přístroje Martindale se výrazně liší od žmolků z komorového žmolkovacího přístroje. Žmolky nejsou v kontrastu s pozadím a jejich velikost je pouze několik málo pixelů. Na pohled jsou tedy tyto žmolky snadno přehlédnutelné a v obraze velmi lehce zaměnitelné se šumem vyskytujícím se v obraze. Liší se pouze svojí strukturou od vazby textilie. Segmentace žmolků od pozadí u těchto melírovaných typů tkanin, které nebyly však na jejich povrchu po zkouškách na přístroji Martindale vytvořeny vzhledem k odolnosti materiálu, by způsobovala určité problémy při použití algoritmu uvedeného v této práci.

Snadno by mohlo dojít například k záměně žmolků s barevně melírovanou strukturou textilie nebo naopak k potlačení některých žmolků jejich odstraněním záměnou za šum. Nedošlo by k přesnému oddělení objektů zájmu od pozadí. Vytvořený algoritmus je tedy vhodný pro jednobarevné textilie, na které byl algoritmus vytvořen a aplikován a v případě tkanin zkoušených na komorovém žmolkovacím přístroji i pro tkaniny melírované. V případě použití vícebarevných nebo vzorovaných textilií by nebyla v tomto případě segmentace žmolků možná.

Pro srovnání se subjektivní metodou hodnocení žmolkovitosti pomocí fotografických etalonů byly jednotlivé objektivní stupně charakteristik spolu i s výsledným objektivním stupněm srovnány se subjektivně určeným stupněm žmolkovitosti porovnáním. Výsledky porovnání těchto dvou způsobů hodnocení žmolkovitosti pomocí lineární regrese jsou zobrazeny na obrázku 26 pro metodu hodnocení na komorovém žmolkovacím přístroji a přístroj Martindale na obrázku 27. Charakteristiky počtu žmolků n a hustoty žmolkovitosti D_1 a D_2 dosahují v obou případech spolehlivé korelace se subjektivním stupněm oproti celkové ploše S_c v mm^2 a to i přes to, že s výchozími pěti stupni žmolkovitosti dosahuje celková plocha velmi vysoké korelace, jak je zobrazeno na obrázku 22 a 23. V případě charakteristiky celkové plochy je nižší závislost se subjektivním stupněm hodnotitelů ovlivněna odlehlými hodnotami což dokazuje, že hodnotící osoby jsou necitlivé vůči tomuto parametru při hodnocení textilií stupněm žmolkovitosti porovnáním s etalony. Tato nižší korelace ve srovnání s ostatními charakteristikami může být také zapříčiněna v některých případech a to pak především u významně odlehlých hodnot významnou variabilitou ve velikosti vytvořených žmolků. Naopak vysoká korelace u počtu žmolků a jejich hustoty vypovídá o tom, že hodnotitelé rozlišují jednotlivé stupně žmolkovitosti především pomocí právě dojmu z těchto charakteristik.

Protože i osoba při subjektivním hodnocení hodnotí textilii na základě celkového dojmu z několika parametrů, pro co nejpřesnější hodnocení je nejvhodnější i v případě objektivního hodnocení celkový stupeň určovat průměrnou hodnotou z uvedených charakteristik. V případě hodnocení vzorků z komorového žmolkovacího stroje má průměrná hodnota charakteristik k určení stupně vyšší korelaci se subjektivním stupněm než pouze jediný parametr. Vyšší korelace je dosaženo i v případě vzorků hodnocených na přístroji Martindale a jejich výsledného objektivního stupně.

Tab. 9. Charakteristiky vzorků textilií z komorového žmolkovacího přístroje.

Vzorek č. 1	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	1	0,128	0	0,128	0,128	0,128	0,021	3,28	0	3,28	3,28	3,99E-04	-	1,14
60 minut	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90 minut	2	0,158	0,181	0,315	0,029	0,286	0,05	2,42	2,04	0,098	3,87	7,99E-04	8,97E-04	1,15
120 minut	5	0,211	0,131	1,053	0,102	0,391	0,17	3,89	1,14	2,58	5,09	0,0020	0,0024	1,25

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace $1 \text{ px} = 0,027$, mediánová maska 5×5 , 30 min. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,71$, 60 min. - $T_1 = 0,72$, $T_2 = 0,71$, 90 min. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,7$, 120 min. - $T_1 = 0,65$, $T_2 = 0,61$

Vzorek č. 2	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	9	0,624	0,649	5,62	0,035	1,77	0,89	5,45	3,73	1,08	11,79	0,0036	0,0034	1,33
60 minut	6	0,082	0,045	0,493	0,017	0,131	0,079	1,95	0,68	0,83	2,49	0,0024	0,0026	1,27
90 minut	5	0,218	0,217	1,09	0,012	0,539	0,175	3,31	2,46	0,43	6,57	0,0020	0,0021	1,27
120 minut	8	0,140	0,100	1,12	0,035	0,274	0,18	2,69	1,60	1,11	5,72	0,0032	0,0039	1,41

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace $1 \text{ px} = 0,027$, mediánová maska 7×7 , 30 min. - $T_1 = 0,75$, $T_2 = 0,78$, 60 min. - $T_1 = 0,73$, $T_2 = 0,74$, 90 min. - $T_1 = 0,76$, $T_2 = 0,85$, 120 min. - $T_1 = 0,76$, $T_2 = 0,8$.

Vzorek č. 3	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	9	0,097	0,059	0,875	0,026	0,219	0,14	2,41	1,317	0,954	5,30	0,0036	0,0030	1,11
60 minut	4	0,106	0,075	0,426	0,026	0,207	0,07	3,14	2,335	1,042	6,47	0,0016	0,0015	1,08
90 minut	2	0,158	0,153	0,315	0,049	0,265	0,05	3,56	2,823	1,564	5,56	0,0013	7,99E-04	1,10
120 minut	22	0,120	0,109	2,52	0,020	0,397	0,40	2,64	1,761	0,890	6,82	0,0084	0,0115	1,14

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace $1 \text{ px} = 0,027$, mediánová maska 5×5 , 30 min. - $T_1 = 0,72$, $T_2 = 0,74$, 60 min. - $T_1 = 0,71$, $T_2 = 0,75$, 90 min. - $T_1 = 0,65$, $T_2 = 0,7$, 120 min. - $T_1 = 0,68$, $T_2 = 0,63$.

Vzorek č. 4	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	1	0,076	0	0,076	0,076	0,076	0,030	1,78	0	1,78	1,78	3,99E-04	-	1,22
60 minut	1	0,190	0	0,189	0,189	0,189	0,035	3,77	0	3,77	3,77	3,99E-04	-	1,32
90 minut	3	0,084	0,099	0,251	0,020	0,198	0,040	1,72	1,36	0,83	3,28	0,0012	0,0015	1,13
120 minut	1	0,143	0	0,143	0,143	0,143	0,023	3,47	0	3,47	3,47	3,99E-04	-	1,42

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace 1 px = 0,027, mediánová maska 5×5 , 30 min. - $T_1=0,68$, $T_2=0,71$, 60 min. - $T_1=0,68$, $T_2=0,71$, 90 min. - $T_1=0,68$, $T_2=0,7$, 120 min. - $T_1=0,68$, $T_2=0,7$.

Vzorek č. 5	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	4	0,123	0,141	0,489	0,018	0,329	0,08	2,23	1,76	0,74	4,76	0,0016	0,0013	1,30
60 minut	8	0,64	0,85	5,11	0,011	2,60	0,82	5,24	4,26	0,43	13,3	0,0032	0,0039	1,48
90 minut	9	0,166	0,233	1,49	0,015	0,66	0,24	2,74	2,77	0,64	8,29	0,0036	0,0037	1,35
120 minut	2	0,292	0,210	0,583	0,143	0,44	0,09	3,85	1,80	2,58	5,13	7,99E-04	0,0014	1,46

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace 1 px = 0,027, mediánová maska 7×7 , 30 min. - $T_1=0,7$, $T_2=0,8$, 60 min. - $T_1=0,7$, $T_2=0,74$, 90 min. - $T_1=0,7$, $T_2=0,74$, 120 min. - $T_1=0,7$, $T_2=0,74$.

Vzorek č. 6	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60 minut	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90 minut	5	0,135	0,174	0,674	0,012	0,432	0,11	2,44	2,01	0,522	5,66	0,0020	0,0015	1,10
120 minut	4	0,165	0,069	0,659	0,076	0,236	0,11	2,99	0,65	2,12	3,59	0,0016	0,0015	1,11

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace 1 px = 0,027, mediánová maska 5×5 , 30 min. - $T_1=0,68$, $T_2=0,74$, 60 min. - $T_1=0,68$, $T_2=0,68$, 90 min. - $T_1=0,62$, $T_2=0,62$, 120 min. - $T_1=0,62$, $T_2=0,62$.

Vzorek č. 7	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60 minut	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90 minut	5	0,247	0,274	1,236	0,015	0,706	0,20	3,29	2,38	0,74	6,93	0,0020	0,0024	1,31
120 minut	13	0,172	0,203	2,236	0,018	0,699	0,37	2,66	1,96	0,67	6,32	0,0052	0,0046	1,36

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace 1 px = 0,027, mediánová maska 5×5 , 30 min. - $T_1 = 0,67$, $T_2 = 0,7$, 60 min. - $T_1 = 0,67$, $T_2 = 0,72$, 90 min. - $T_1 = 0,67$, $T_2 = 0,66$, 120 min. - $T_1 = 0,67$, $T_2 = 0,6$.

Vzorek č. 8	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
30 minut	2	0,119	0	0,239	0,119	0,119	0,04	2,38	0,018	2,37	2,39	7,99E-04	8,23E-04	1,27
60 minut	4	0,257	0,238	1,03	0,020	0,505	0,16	3,48	2,413	0,08	5,71	0,0016	0,0012	1,31
90 minut	6	0,226	0,296	1,35	0,07	0,828	0,22	3,36	2,44	1,93	8,25	0,0024	0,0025	1,26
120 minut	7	0,424	0,286	2,97	0,102	0,822	0,47	4,63	1,82	2,09	6,97	0,0028	0,0030	1,33

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace 1 px = 0,027, mediánová maska 7×7 , 30 min. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,84$, 60 min. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,82$, 90 min. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,78$, 120 min. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,78$.

Tab. 10. Charakteristiky vzorků textilií z přístroje Martindale.

Vzorek č. 1, 2, 4, 5	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	<i>n</i>	Průměrná plocha \bar{S} [mm ²]	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků S_p [%]	Průměrný obvod \bar{O} [mm]	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
125 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 000 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 000 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 000 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 000 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pozn. Vzorek č. 1: velikost obrazu 1876×1876 px, kalibrace 1 px=0,0283, mediánová maska 5×5, 125 ot. - $T_1=0,68$, $T_2=0,7$, 500 ot. - $T_1=0,68$, $T_2=0,7$, 1 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,74$, 2 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,72$, 5 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,74$, 7 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,72$. Vzorek č. 2: velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace 1 px=0,027, mediánová maska 7×7, 125 ot. - 7 000 ot. - $T_1=0,75$, $T_2=0,86$. Vzorek č. 4: velikost obrazu 1876×1876 px, kalibrace 1 px=0,0283, mediánová maska 5×5, 125 ot. - 7 000 ot. - $T_1=0,75$, $T_2=0,74$. Vzorek č. 5: velikost obrazu 1876×1876 px, kalibrace 1 px=0,0283, mediánová maska 7×7, 125 ot. - 500 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,76$, 1 000 ot. - 7 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,8$.

Vzorek č. 3	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	<i>n</i>	Průměrná plocha \bar{S} [mm ²]	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků S_p [%]	Průměrný obvod \bar{O} [mm]	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
125 ot.	2	0,071	0,041	0,141	0,042	0,099	0,023	1,866	0,585	1,45	2,28	7,98E-04	6,42E-04	1,08
500 ot.	2	0,072	0,039	0,144	0,045	0,099	0,023	2,013	0,98	1,32	2,71	7,98E-04	0,0172	1,09
1 000 ot.	4	0,054	0,028	0,218	0,026	0,090	0,035	1,412	0,54	0,84	2,07	0,0016	0,0011	1,04
2 000 ot.	14	0,043	0,030	0,606	0,016	0,109	0,1	1,253	0,56	0,68	2,41	0,0056	0,0079	1,12
5 000 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 000 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pozn. Velikost obrazu 1876×1876 px, kalibrace 1 px=0,0283, mediánová maska 5×5, 125 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,76$, 500 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,73$, 1 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,64$, 2 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,67$, 5 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,74$, 7 000 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,74$.

Vzorek č. 7	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
125 ot.	5	0,025	0,014	0,125	0,013	0,042	0,02	0,826	0,409	0,453	1,29	0,0020	0,0018	1,40
500 ot.	18	0,020	0,008	0,365	0,013	0,042	0,06	0,717	0,269	0,453	1,29	0,0072	0,0080	1,42
1 000 ot.	10	0,020	0,008	0,202	0,013	0,035	0,032	0,684	0,234	0,453	1,07	0,0040	0,0037	1,34
2 000 ot.	23	0,019	0,009	0,439	0,013	0,045	0,07	0,675	0,298	0,453	1,41	0,0092	0,0082	1,46
5 000 ot.	50	0,027	0,013	1,249	0,013	0,083	0,198	0,929	0,461	0,453	2,23	0,0186	0,0200	1,27
7 000 ot.	15	0,015	0,003	0,231	0,013	0,019	0,037	0,592	0,179	0,453	1,09	0,0060	0,0061	1,43

Pozn. Velikost obrazu 1876×1876 px, kalibrace 1 px = 0,0283, mediánová maska 3×3, 125 ot. - $T_1=0,7$, $T_2=0,76$, 500 ot. - $T_1=0,68$, $T_2=0,7$, 1 000 ot. - $T_1=0,68$, $T_2=0,69$, 2 000 ot. - $T_1=0,66$, $T_2=0,68$, 5 000 ot. - $T_1=0,65$, $T_2=0,7$, 7 000 ot. - $T_1=0,69$, $T_2=0,73$.

Vzorek č. 8	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
125 ot.	8	0,122	0,256	0,977	0,013	0,753	0,156	2,159	2,456	0,613	8,50	0,0032	0,0036	1,26
500 ot.	10	0,128	0,225	1,281	0,013	0,737	0,205	0,173	0,204	0,011	8,45	0,0040	0,0035	1,33
1 000 ot.	2	0,346	0,462	0,692	0,013	0,623	0,111	5,491	6,805	0,679	10,3	7,98E-04	0,0016	1,25
2 000 ot.	10	0,187	0,209	1,868	0,013	0,596	0,298	3,059	2,712	0,679	8,59	0,0040	0,0037	1,27
5 000 ot.	6	0,104	0,084	0,622	0,013	0,211	0,099	2,083	1,241	0,061	3,54	0,0024	0,0030	1,34
7 000 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pozn. Velikost obrazu 1876×1876 px, kalibrace 1 px = 0,0283, mediánová maska 7×7, 125 ot. - $T_1=0,71$, $T_2=0,66$, 500 ot. - $T_1=0,71$, $T_2=0,71$, 1 000 ot. - $T_1=0,72$, $T_2=0,7$, 2 000 ot. - $T_1=0,74$, $T_2=0,7$, 5 000 ot. - $T_1=0,73$, $T_2=0,72$, 7 000 ot. - $T_1=0,73$, $T_2=0,77$.

Vzorek č. 9	Počet žmolků	Velikost žmolků										Hustota žmolkovitosti		Kontrast
	n	Průměrná plocha $\bar{S} [mm^2]$	σ_S	Celková plocha S_c	Min	Max	Plocha žmolků $S_p [\%]$	Průměrný obvod $\bar{O} [mm]$	σ_O	Min	Max	D_1	D_2	G
125 ot.	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 ot.	18	0,018	0,007	0,335	0,012	0,035	0,054	0,646	0,215	0,432	1,08	0,0076	0,0066	1,20
1 000 ot.	48	0,015	0,004	0,726	0,012	0,029	0,116	0,572	0,155	0,432	9,54	0,0192	0,0164	1,20
2 000 ot.	59	0,016	0,007	0,939	0,012	0,049	0,258	0,602	0,224	0,432	1,47	0,0236	0,0334	1,20
5 000 ot.	82	0,020	0,092	1,616	0,012	0,049	0,258	0,728	0,297	0,432	1,54	0,0328	0,0364	1,24
7 000 ot.	44	0,017	0,007	0,732	0,012	0,041	0,117	0,614	0,208	0,432	1,23	0,0176	0,0148	1,33

Pozn. Velikost obrazu 1951×1951 px, kalibrace 1 px = 0,027, mediánová maska 3×3 , 125 ot. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,76$, 500 ot. - $T_1 = 0,7$, $T_2 = 0,7$, 1 000 ot. - $T_1 = 0,67$, $T_2 = 0,7$, 2 000 ot. - $T_1 = 0,65$, $T_2 = 0,66$, 5 000 ot. - $T_1 = 0,66$, $T_2 = 0,68$, 7 000 ot. - $T_1 = 0,71$, $T_2 = 0,71$.

Tab. 11. Objektivní vyhodnocení stupně žmolkovitosti vzorků z komorového žmolkovacího přístroje.

Vzorek č. 1	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,8	4,7	4,81	5	4,83	5
60 minut	4,88	4,75	4,89	5	4,88	5
90 minut	4,7	4,62	4,73	5	4,72	5
120 minut	4,48	4,33	4,49	4,57	4,47	4

Vzorek č. 2	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,16	2,52	4,17	4,30	3,79	4
60 minut	4,40	4,55	4,41	4,49	4,49	4
90 minut	4,48	4,31	4,49	4,60	4,47	4
120 minut	4,24	4,30	4,25	4,25	4,26	4

Vzorek č. 3	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,16	4,40	4,17	4,49	4,30	4
60 minut	4,56	4,58	4,57	4,71	4,61	5
90 minut	4,72	4,62	4,73	4,75	4,70	5
120 minut	3,20	3,75	3,21	2,63	3,20	3

Vzorek č. 4	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,80	4,71	4,81	5	4,82	5
60 minut	4,80	4,67	4,81	5	4,82	5
90 minut	4,64	4,65	4,65	4,65	4,65	5
120 minut	4,80	4,69	4,81	5	4,82	5

Vzorek č. 5	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,56	4,55	4,57	4,73	4,60	5
60 minut	4,24	2,72	4,25	4,49	3,92	4
90 minut	4,16	4,15	4,17	4,39	4,22	4
120 minut	4,72	4,51	4,73	4,76	4,68	5

Vzorek č. 6	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,88	4,75	4,89	5	4,88	5
60 minut	4,88	4,75	4,89	5	4,88	5
90 minut	4,48	4,48	4,49	4,49	4,49	4
120 minut	4,56	4,47	4,57	4,63	4,56	5

Vzorek č. 7	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,88	4,75	4,89	5	4,88	5
60 minut	4,88	4,75	4,89	5	4,88	5
90 minut	4,48	4,25	4,49	4,43	4,41	4
120 minut	3,84	3,86	3,85	4,10	3,91	4

Vzorek č. 8	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
30 minut	4,72	4,65	4,73	4,84	4,73	5
60 minut	4,56	4,34	4,57	4,82	4,57	5
90 minut	4,40	4,21	4,41	4,51	4,38	4
120 minut	4,31	3,57	4,33	4,41	4,16	4

Tab. 12. Objektivní vyhodnocení stupně žmolkovitosti vzorků z přístroje Martindale.

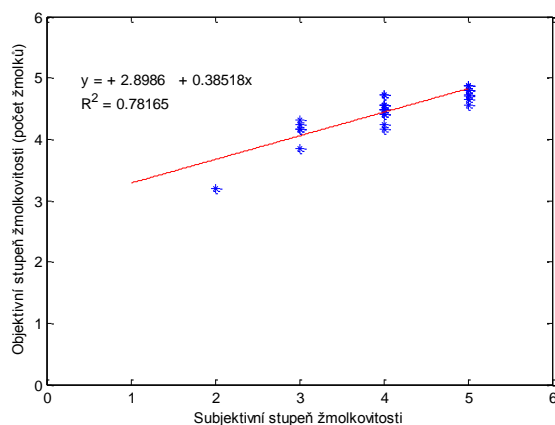
Vzorek č. 1, 2, 4, 5	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
125 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5
500 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5
1 000 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5
2 000 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5
5 000 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5
7 000 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5

Vzorek č. 3	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
125 ot.	4,91	4,40	4,91	4,91	4,78	5
500 ot.	4,91	4,56	4,91	4,91	4,78	5
1 000 ot.	4,80	4,31	4,85	4,80	4,69	5
2 000 ot.	4,91	4,44	4,91	4,89	4,79	5
5 000 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5
7 000 ot.	5,02	4,69	5,02	4,99	4,93	5

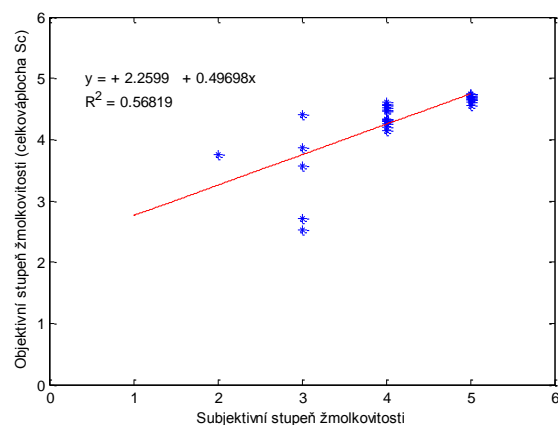
Vzorek č. 7	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
125 ot.	4,85	4,58	4,85	4,89	4,79	5
500 ot.	4,64	4,47	4,64	4,57	4,58	5
1 000 ot.	3,45	3,73	3,47	4,84	3,62	4
2 000 ot.	3,88	4,04	3,89	4,35	4,04	4
5 000 ot.	2,47	2,55	2,51	2,51	2,51	3
7 000 ot.	4,20	4,29	4,20	4,23	4,23	4

Vzorek č. 8	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
125 ot.	4,58	3,02	4,59	4,51	4,18	4
500 ot.	4,47	2,51	4,47	4,50	3,99	4
1 000 ot.	4,91	3,51	4,91	4,76	4,53	5
2 000 ot.	4,47	1,53	4,47	4,35	3,70	4
5 000 ot.	4,69	3,62	4,69	4,64	4,41	4
7 000 ot.	4,91	4,40	4,91	4,91	4,78	5

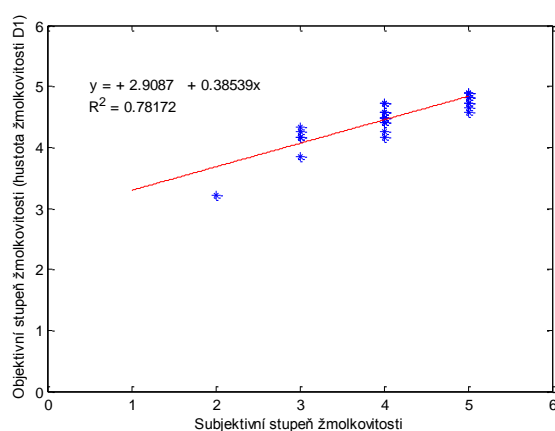
Vzorek č. 9	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}	Výsledný stupeň Y
125 ot.	4,91	4,40	4,91	4,91	4,78	5
500 ot.	3,99	4,11	3,99	4,17	4,06	4
1 000 ot.	2,42	3,45	2,42	2,89	2,80	3
2 000 ot.	1,82	3,08	1,82	0,71	1,85	2
5 000 ot.	0,58	1,93	0,58	0,42	0,88	1
7 000 ot.	2,63	3,44	2,63	2,35	2,76	3



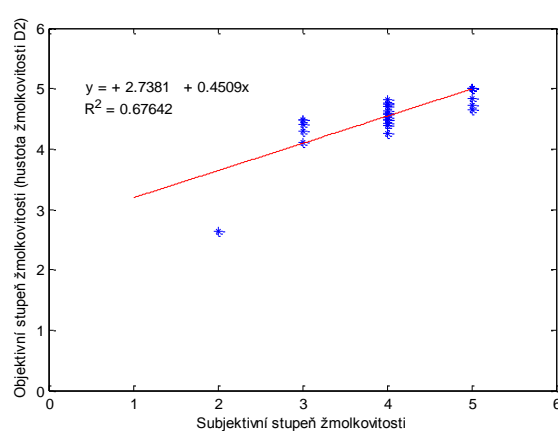
(a)



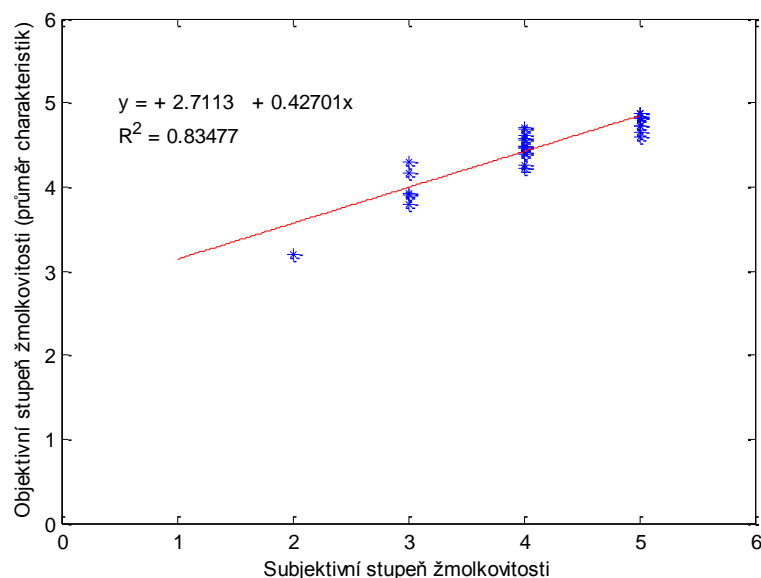
(b)



(c)

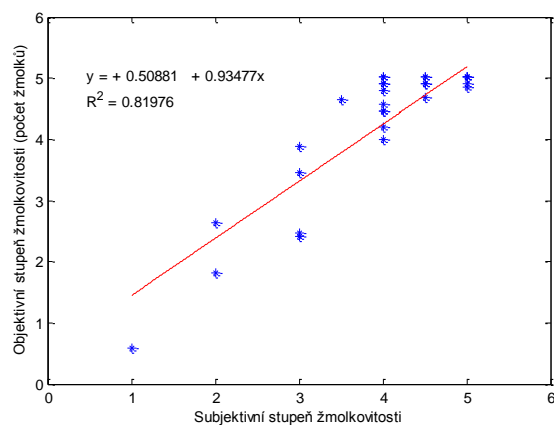


(d)

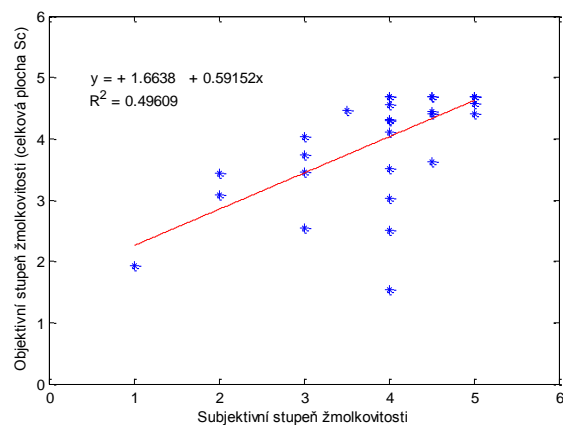


(e)

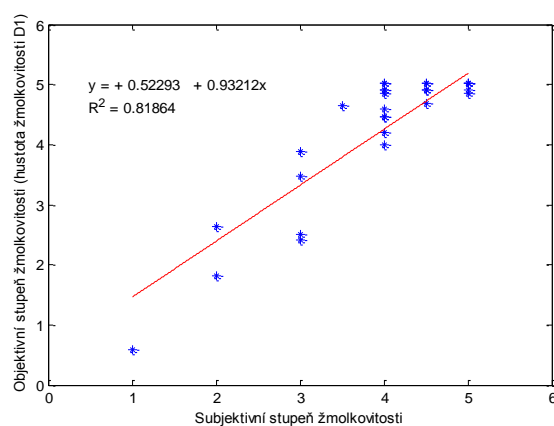
Obr. 26. Vzájemný vztah mezi jednotlivými objektivními stupni žmolovitosti a subjektivními stupni žmolovitosti vzorků z komorového žmolovacího přístroje.



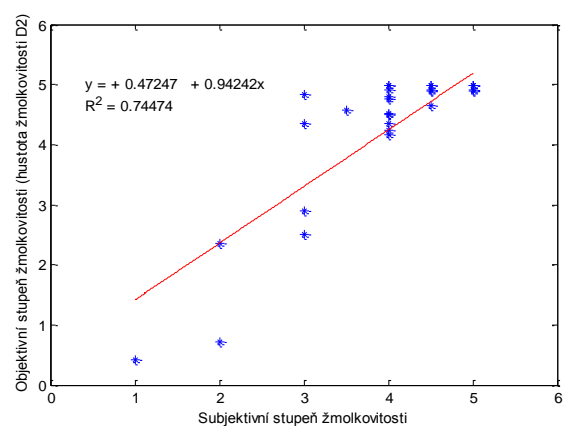
(a)



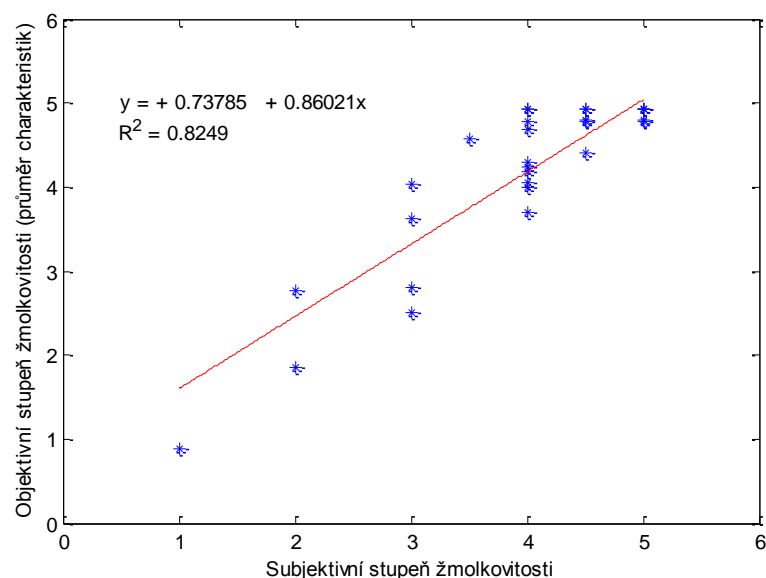
(b)



(c)



(d)



(e)

Obr. 27. Vzájemný vztah mezi jednotlivými objektivními stupni žmolovitosti a subjektivními stupni žmolovitosti vzorků z přístroje Martindale.

11 Závěr

Diplomová práce se zabývala objektivním hodnocením žmolkovitosti. Hlavním cílem bylo navrhnout metodu a vytvořit algoritmus objektivního hodnocení žmolkovitosti s využitím obrazové analýzy.

V úvodu práce byla zpracována rešerše na aktuální téma, která obsahuje přehled jednotlivých metod týkajících se hodnocení žmolkovitosti s využitím právě obrazové analýzy. Problematika žmolkovitosti s úvodem do obrazové analýzy byly popsány v části teoretické. Na základě získaných obecných poznatků k této problematice, byla navržená metoda hodnocení žmolkovitosti, která byla založená na spektrálním přístupu pomocí diskrétní Fourierovy transformace. Ta detekuje jednotlivé žmolky z povrchu textilie rozložením obrazu ve frekvenční oblasti na základě jejich odlišné struktury. Obraz textilie je z prostorové domény převeden do frekvenční oblasti. Extrakcí významných vrcholů ve výkonovém spektru byl zpětnou transformací obraz rozdělen na obraz textury a obraz šumu obsahující detekované žmolky z povrchu textilie. Aplikací mediánového filtru byly z obrazu vyhlazeny zbytkové informace struktury tkaniny spolu se šumem obsaženým v obraze. Následnou segmentací tohoto obrazu prahováním byly odděleny jednotlivé žmolky od pozadí. Stanovením objektivních charakteristik a pomocí lineární regrese byly určeny vztahy pro výsledné vyhodnocení žmolkovitosti objektivním stupněm. Práce obsahuje podrobný popis jednotlivých kroků navrženého algoritmu včetně jejich předzpracování. Jeho funkčnost byla ověřena na různých typech tkanin podrobených laboratorním zkouškám prováděných na přístroji Martindale a na komorovém žmolkovacím stroji, které vytváří na povrchu textilie vzhledově odlišné žmolky. Výsledky objektivní metody hodnocení byly následně srovnány s výsledky subjektivního hodnocení. Pro zjednodušené ovládání vytvořeného algoritmu je součástí práce grafické uživatelské prostředí navržené v programu Matlab, které umožňuje pomocí interaktivních ovládacích prvků jeho obsluhu i bez větší znalosti vytvořeného postupu.

Navržený algoritmus s využitím Fourierovy transformace a dalších metod zpracování obrazu uvedených v této práci se ukázal jako vhodný pro vyhodnocení žmolkovitosti použitých tkanin. Nezanedbatelný vliv na detekci a následnou klasifikaci žmolků má kvalita nasnímaných obrazů a jejich způsob předzpracování. Vzhledem

k odlišnosti vytvořených žmolků na povrchu textilie z jednotlivých zkušebních přístrojů k zjišťování sklonu textilií ke žmolkování bylo nutné provést rozdílného nasnímání, resp. nasvícení a předzpracování u těchto obrazů. Žmolky vytvořené na povrchu tkaniny na přístroji Martindale jsou ve srovnání se žmolky vytvořenými z komorového žmolkovacího přístroje několikanásobně menší a nekонтastní vůči pozadí. V některých případech tak může nastat problém při detekci velmi malých žmolků z přístroje Martindale. Při filtraci obrazu mohou být velmi malé žmolky zaměněny za šum a z obrazu odstraněny nebo naopak. Jejich detekce tak pak nemusí být zcela přesná a může ovlivnit výsledné zařazení do stupně žmolkovitosti. Na základě porovnání výsledků z metody objektivního hodnocení a hodnocením subjektivním se ukázalo, že jednotlivé výsledné stupně žmolkovitosti dosahují vysoké korelace se subjektivně určeným stupněm.

Rozdělení obrazu textury na jednotlivé složky je zásadním krokem pro extrakci žmolků z textury. V práci je obraz rozdělen nalezením vrcholů frekvenčních komponent pomocí operace globálního prahování Fourierova spektra. Zdokonalení algoritmu rozložení obrazu na deterministickou a náhodnou složku by mohla poskytnout Woldova dekompozice obrazu.

Funkčnost algoritmu navrženého v této práci je omezena pouze na čistě jednobarevné materiály v případě vzorků z přístroje Martindale a v případě komorového žmolkovacího přístroje i na materiály melírované, kde jsou žmolky v kontrastu s pozadím textilie. V případě vzorovaných a vícebarevných materiálů by nebylo podle určeného postupu v této práci možné úspěšně žmolky oddělit od pozadí. Prostor pro pokračující výzkum se nachází tedy u vícebarevných a vzorovaných textilií, kde je pro správnou detekci žmolků nutné z obrazu odstranit nejen směrovost textilie, ale také její barevnost případně její vzor. Jedním ze způsobů může být například sejmutí obrazu pomocí metod 3D skenování.

Literatura

- [1] XIN, B.; HU, J.. Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Image Analysis Techniques. *Textile Research Journal*. December 2002, Vol. 72 (12), s. 1057-1064.
- [2] ZHANG, J.; WANG, X.; PALMER, S.. Objective Grading of Fabric Pilling with Wavelet Texture Analysis. *Textile Research Journal*. November 2007, Vol. 77(11), s. 871-879.
- [3] KIM, S. C.; KANG, T. J.. Image Analysis of Stanard Pilling Photographs Using Wavelet Reconstruction. *Textile Research Journal*. December 2005, Vol. 75(12), s. 801-811.
- [4] SEMNANI, D.; GHAYOOR, H.. Detecting and Measuring Fabric Pills Using Digital Image Analysis. *Engineering and Technology*. 2009, Vol. 49, s. 897-900.
- [5] XU, B.. Instrumental Evaluation of Fabric Pilling. *Journal of Textile Institute*. 1997, 488, s. 488-500.
- [6] RAMGULAM, R. B., et al.. The Objective Assessment of Fabric Pilling: Part 1: Methodology. *The Journal of the Textile Institute*. 1993, Vol. 84(2), s. 221-223.
- [7] LUXIMON, A.; PATTANAYAK, A. K.. Objective Measurement and Simulation of the Fabric Pilling Surface by Using 3D Laser Scanner. *Proceedings of the 39th Textile Research Symposium at IIT Delhi, December 16 - 18, 2010*, s. 468-475.
- [8] JASIŃSKA, I.. Assessment of a Fabric Surface after the Pilling Process Based on Image Analysis. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*. 2009, Vol. 17, No 2 (73), s. 55-58.
- [9] STANĚK, J.. *Nauka o textilních materiálech, díl 1., část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií*. 1. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1988.

- [10] MILITKÝ, J.; VANÍČEK, J.. *Vlastnosti vláken* [online]. 2006, [cit. 2010-11-10]. 14. Modifikace struktury a vlastností vláken a vztah k užitným a zpracovatelským vlastnostem vláken, s. 8. Dostupné z WWW: <<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken.prednaska14.pdf>>
- [11] VIK, M. *Finální úpravy textilií*. TU v Liberci, 2010.
- [12] ČSN 80 0838. *Zjišťování odolnosti plošných textilií proti žmolkování na komorovém žmolkovacím přístroji*. Praha: Vydavatelství ÚMN, 1976. 4 s.
- [13] ČSN EN ISO 12945-2. *Textilie - zjišťování sklonu plošných textilií k rozvláknění povrchu a ke žmolkování - Část 2: Modifikovaná metoda Martindale*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 20 s.
- [14] GONZALES, R.C.; WOOD, R.E.. *Digital Image Processing*. 2nd edition, Prentice- Hall, 2002.
- [15] HLAVÁČ, V.; SEDLÁČEK, M.. *Zpracování signálů a obrazů*. Praha: ČVUT, 2007. 255 s.
- [16] HOLOTA, R.; FÍŘT, J.. *Digitalizace a zpracování obrazu* [online]. 2002, [cit. 2010-01-15]. Dostupné z: <<http://home.zcu.cz/~holota5/publ/DigZprO.pdf>>.
- [17] LINKA, A.; TUNÁK, M.; TÝŘ, J.. *Aplikace Matlab Web Serveru: Zpracování obrazu ve frekvenční oblasti*. E - learning.tul.cz [online]. 2008, [cit.2011-02-10]. Dostupné z: <http://elearning.tul.cz/cgi-bin/elearning.fcgi?ID_tema=73&ID_obsah=1706&stranka=publ_tema&akce=polozka_vstup>.
- [18] TUNÁK, M.. *Využití texturních charakteristik pro automatickou kontrolu tkaných textilií*. Diplomová práce, TUL 2004.
- [19] SOJKA, E.. *Digitální zpracování a analýza obrazů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2000, [cit. 2011-02-26]. Dostupné z WWW: <http://mrl.cs.vsb.cz/people/sojka/digitalni_zpracovani_obrazu.pdf>

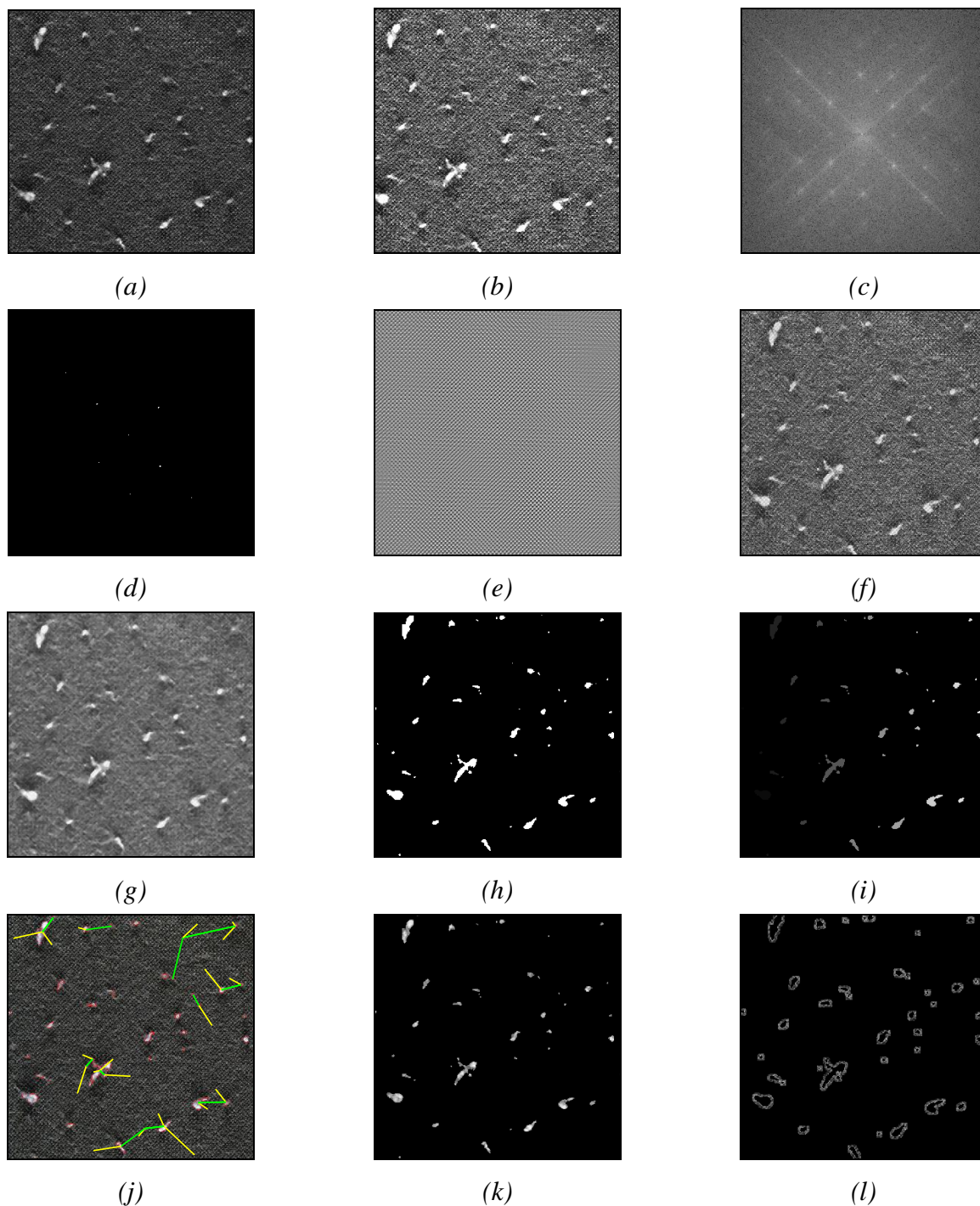
Seznam příloh

Příloha 1: Výstupní obrazy pěti stupňů žmolkovitosti programu *Pilling.m*.

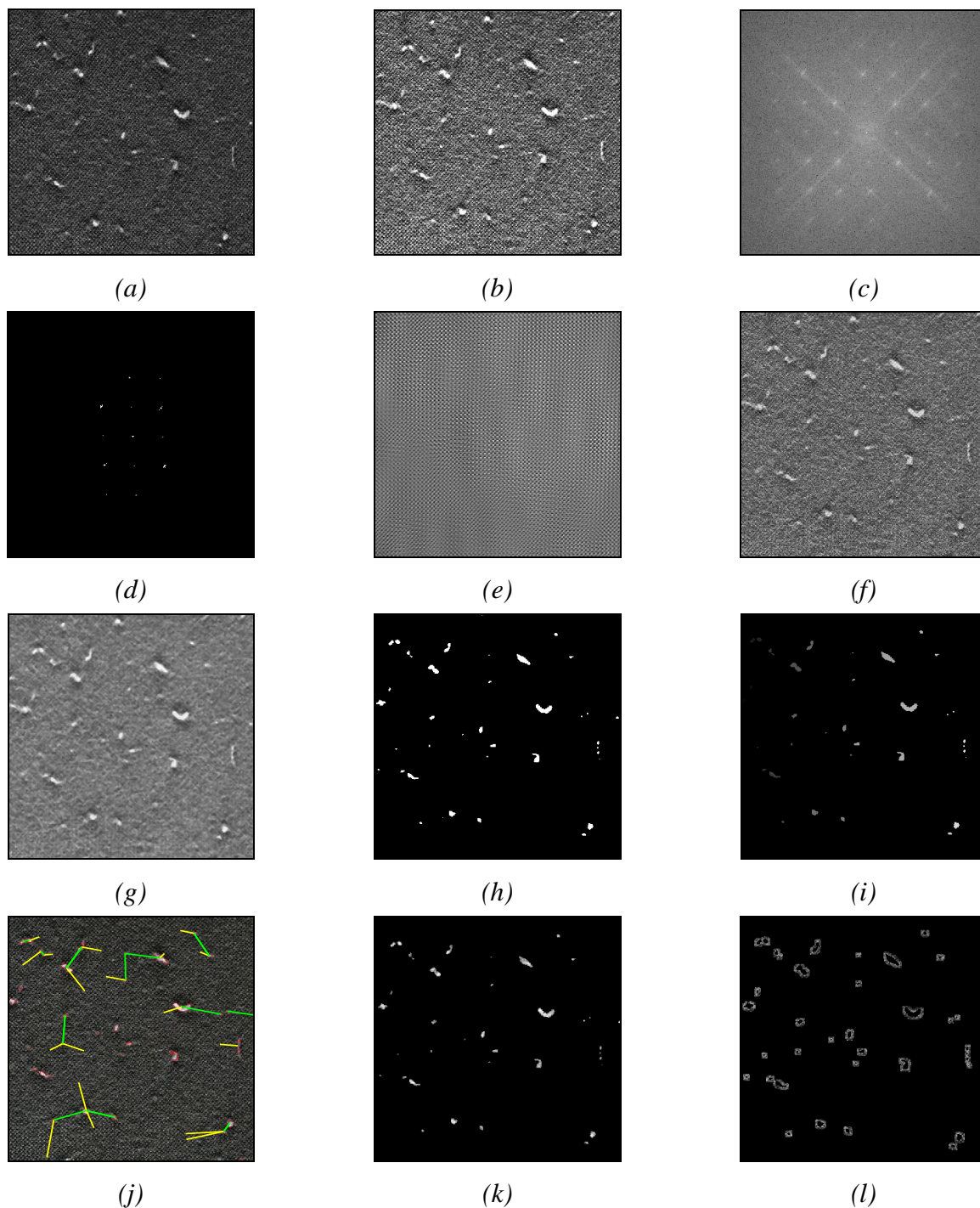
Příloha 2: Zdrojový kód programu *Pilling.m*.

V příloze na CD je přiložen zdrojový kód programu *Pilling.m* pro grafické uživatelské prostředí (GUI) a obrazová sada testovacích vzorků.

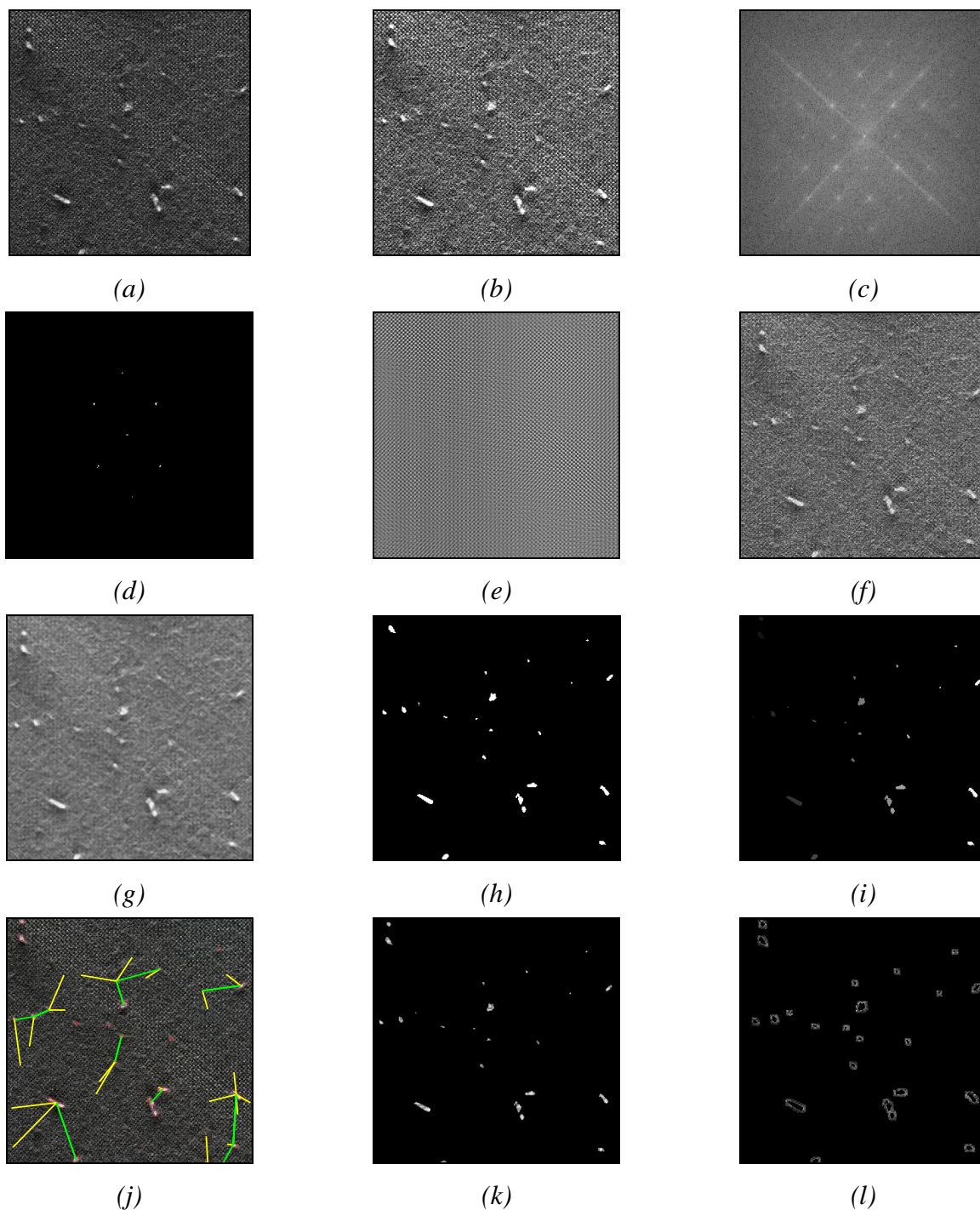
PŘÍLOHOVÁ ČÁST



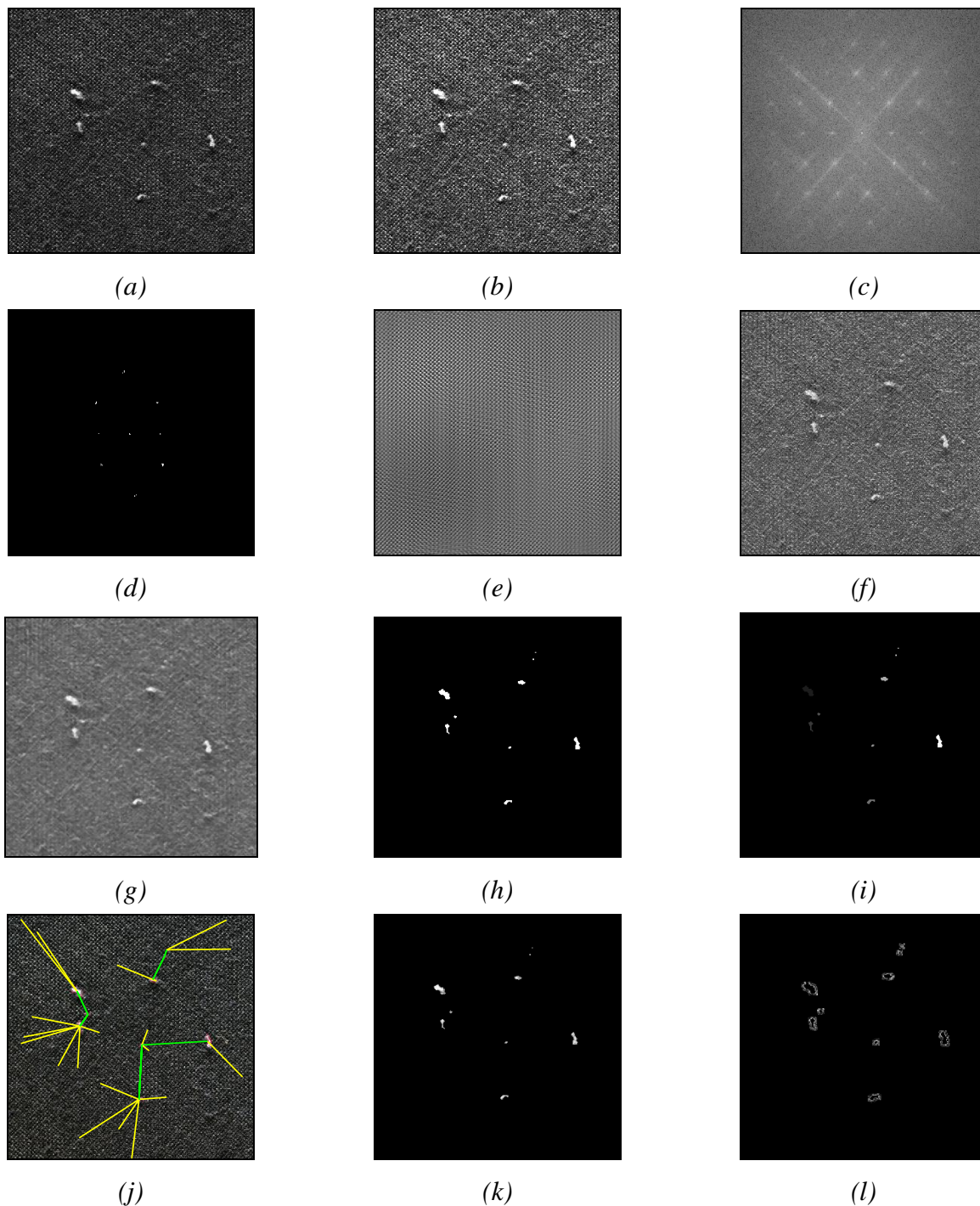
Obr. 1. Obrazy 1. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,7$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 5×5 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,6$), (i) obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely ve stupních šedi, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem $I(a)$, (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



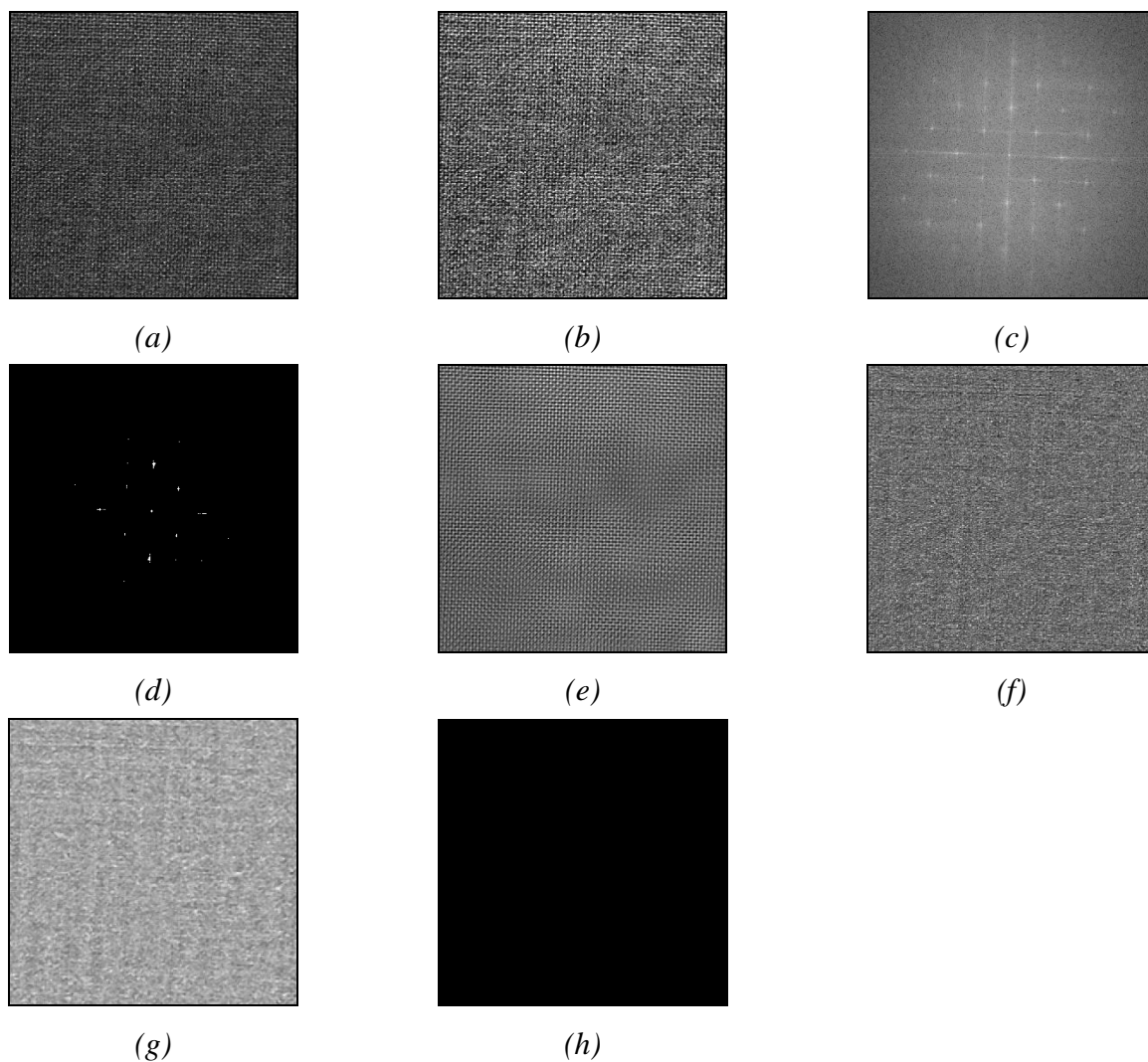
Obr. 2. Obrazy 2. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,7$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 5×5 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,64$), (i) obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely ve stupních šedi, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem 1(a), (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



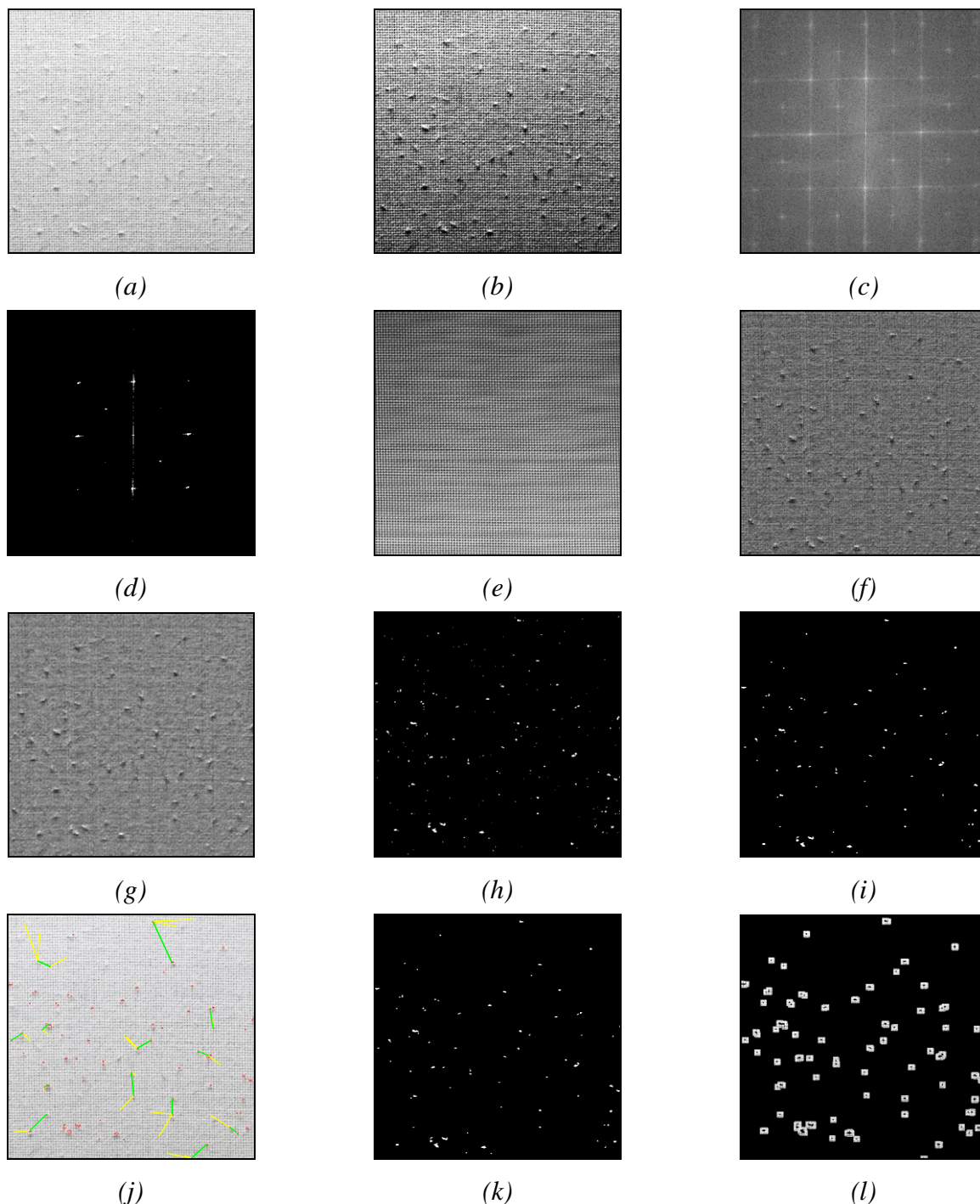
Obr. 3. Obrazy 3. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,7$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 5×5 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,64$), (i) obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely ve stupních šedi, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem 1(a), (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



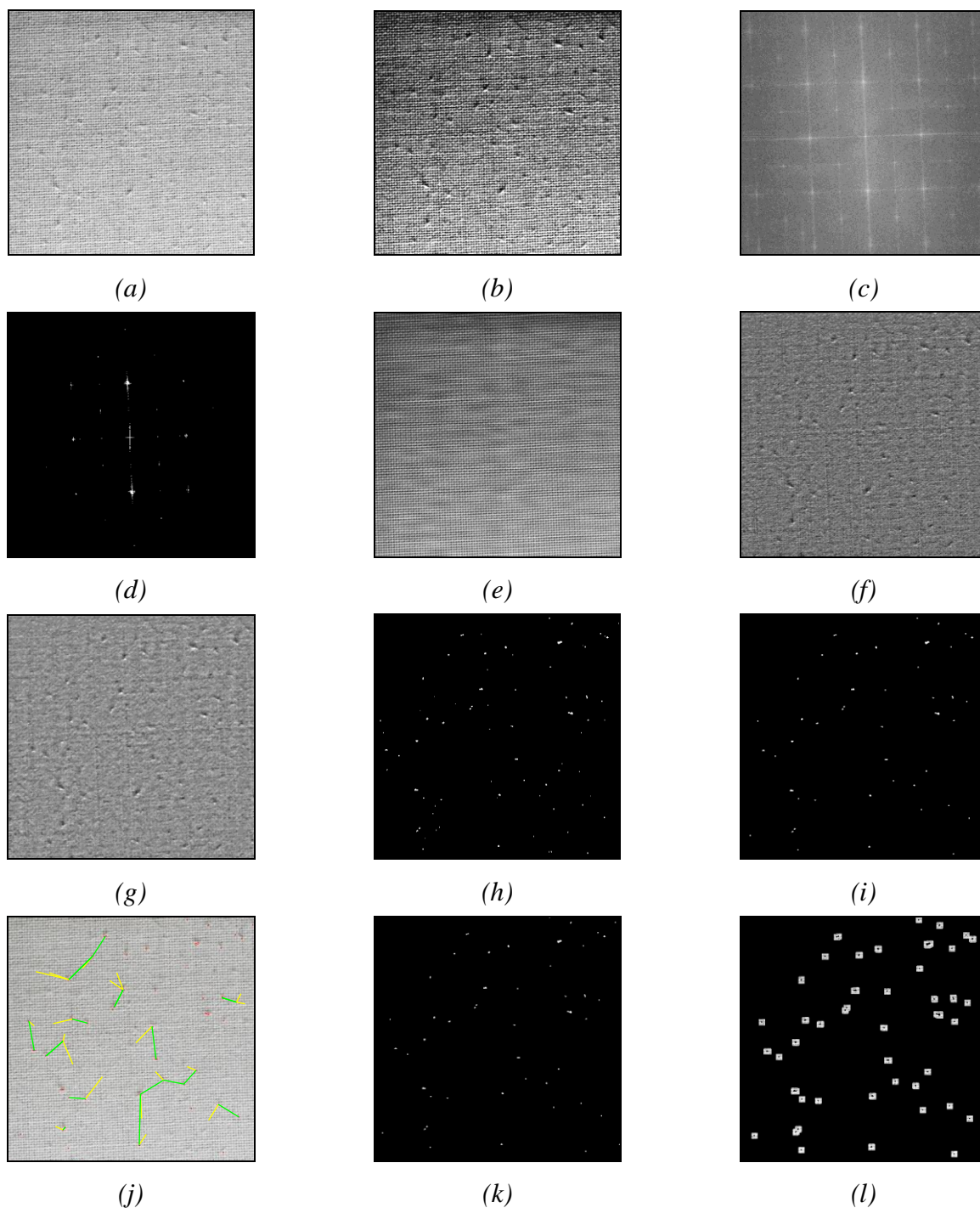
Obr. 4. Obrazy 4. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,7$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 5×5 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,66$), (i) obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely ve stupních šedi, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem 1(a), (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



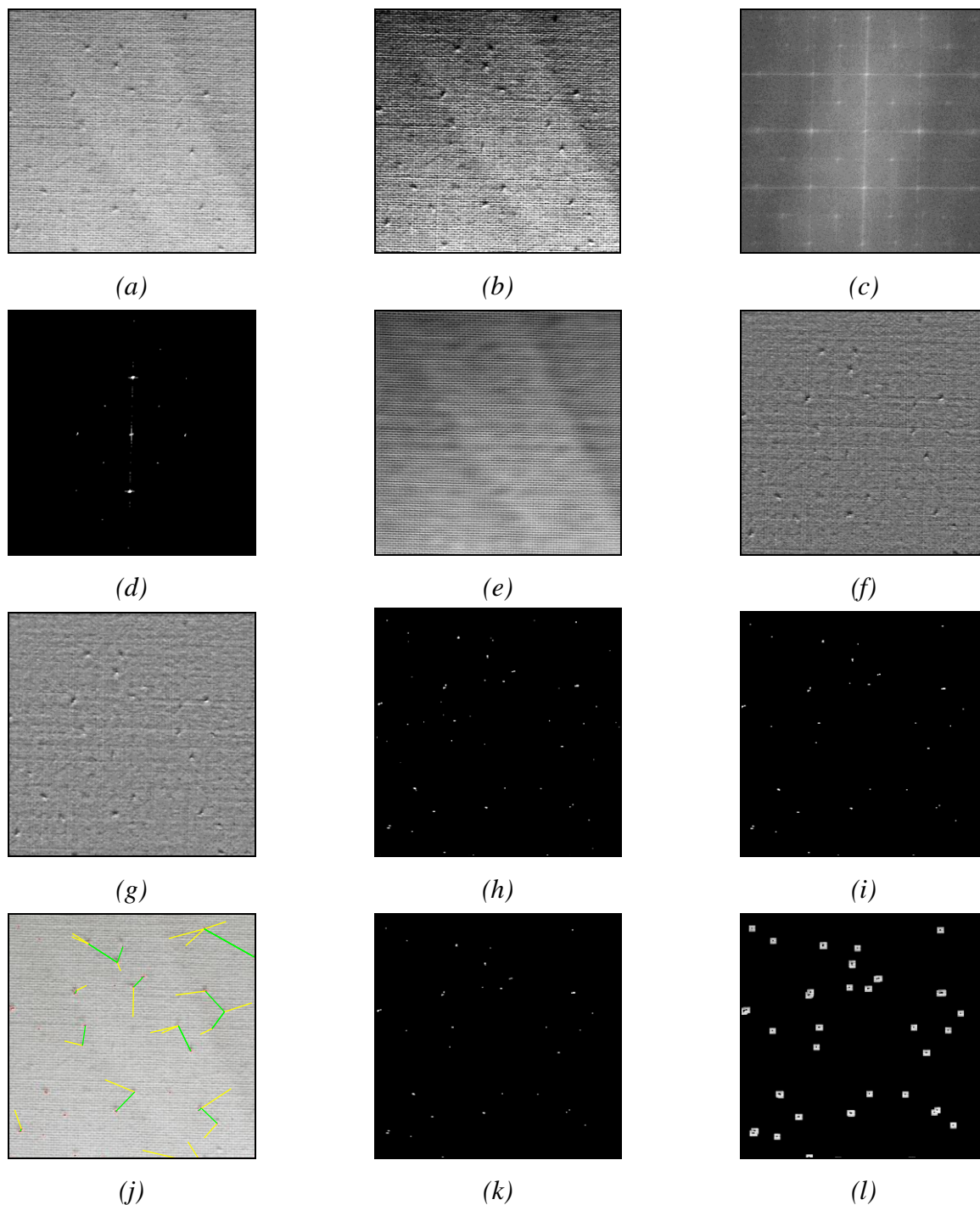
Obr. 5. Obrazy 5. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,7$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 5×5 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,66$).



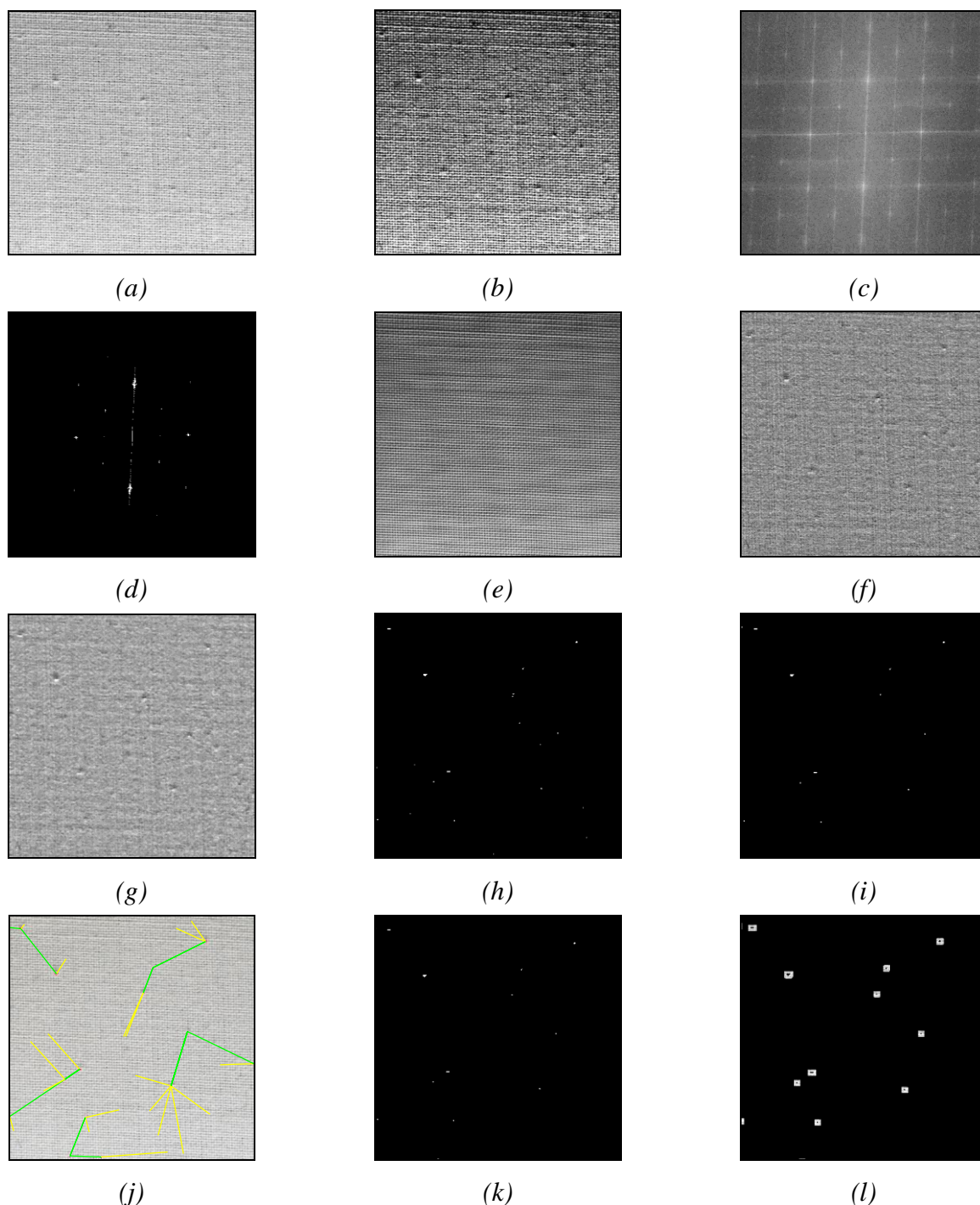
Obr. 6. Obrazy 1. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,65$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 3×3 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,57$), (i) binární obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem $I(a)$, (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



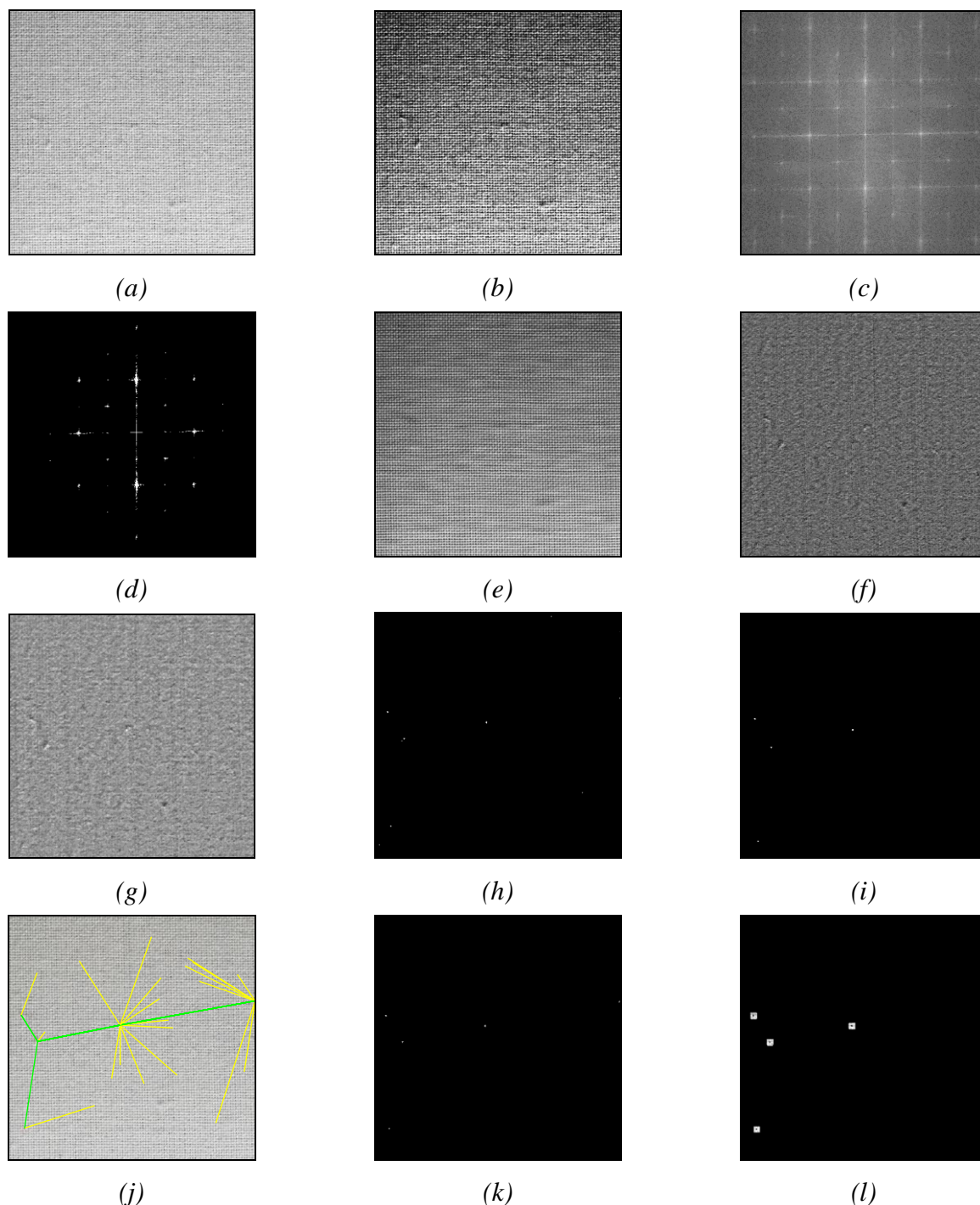
Obr. 7. Obrazy 2. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,67$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 3×3 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,63$), (i) binární obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem 1(a), (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



Obr. 8. Obrazy 3. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,7$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 3×3 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,64$), (i) binární obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem 1(a), (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



Obr. 9. Obrazy 4. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,67$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 3×3 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,74$), (i) binární obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem 1(a), (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.



Obr. 10. Obrazy 5. stupně žmolkovitosti, (a) monochromatický obraz tkaniny, (b) obraz po jasové transformaci, (c) centrované výkonové spektrum, (d) prahované spektrum ($T = 0,64$), (e) zrekonstruovaný obraz periodické struktury, (f) zrekonstruovaný obraz neperiodické struktury (g) obraz po filtraci mediánem o velikosti masky 3×3 , (h) binární obraz po segmentaci prahováním ($T = 0,64$), (i) binární obraz s čistými hranami a odstraněnými objekty menší než 4 pixely, (j) nejbližší vzdálenosti mezi náhodně vygenerovanými body a těžišti nalezených objektů, (k) binární obraz vynásobený obrazem $I(a)$, (l) obraz zobrazující obklopující okolí žmolků.

```
clear,clc,close all

I=imread('nazev obrazku.jpg'); % načtení obrázku
I=I(1:2165,1:2165,:); % výřez obrazu
kal=0.027; % kalibrace obrazu
I = imresize(I, 1/4); % zmenšení obrazu

IG1=I;IG1(1:25, :, :)=[];
IG2=IG1;IG2(:, 1:25, :)=[];
I=rgb2gray(I);
Ipom1=I;Ipom1(1:25, :, :)=[];
Ipom2=Ipom1;Ipom2(:, 1:25, :)=[];
figure,imshow(I, [])

%imhist(I) % zobrazení histogramu
AA=imadjust(I); % dynamické roztažení histogramu (komorový žmolkovací
přístroj)
%AA=histeq(I); % ekvalizace histogramu (přístroj Martindale)
figure, imshow(AA)
%imhist(AA)
I=double(I);

F=fftshift(fft2(AA)); % Fourierova transformace
S=mat2gray(log(1+abs(F))); % frekvenční spektrum
figure,imshow(S, []) % zobrazení frekvenčního spektra
P=im2bw(S,0.7); % převedení na binární obraz s prahem 0.7
figure,imshow(P, []) % zobrazení oprahovaného obrazu
[r c]=find(P==1); % nalezení hodnot = 1

R=zeros(size(AA)); % generuje matici s nulovými prvky velikosti (I)
R(r,c)=F(r,c);
R=ifft2(ifftshift(R)); % inverzní Fourierova transformace
R=mat2gray(real(R)); % převedení obrazu do stupní šedi z matice
figure,imshow(R, []); % zobrazení obnoveného obrazu

T=F;
T(r,c)=0;
T=ifft2(ifftshift(T)); % inverzní Fourierova transformace
T=mat2gray(real(T)); % převedení obrazu do stupní šedi z matice
figure,imshow(T, []); % zobrazení obnoveného obrazu

M=medfilt2(T, [5 5]); % mediánový filtr s maskou 5 x 5
figure,imshow(M, []) % zobrazení filtrovaného obrazu

IM1=im2bw(M,0.6); % převedení na binární obraz prahováním s prahem 0.6
IM1(1:25, :, :)=[];
IM=IM1;IM(:, 1:25, :)=[];
IM(1:25, :)=[];
IM=imclearborder(IM); % odstranění objektů v obrazu zasahujících do
hran obrazu
figure,imshow(IM, [])

IMM=bwareaopen(IM,4); % odstranění objektů menších než 4 pixely
BWL=bwlabel(IMM); % indexace objektů
figure,imshow(BWL, [])

parametre=regionprops(BWL, 'Area', 'Centroid', 'Perimeter'); % funkce na
zjištění vlastností objektů, plochy, těžiště a obvodu objektů
```



```
N=max(BWL(:)); % počet žmolků
if N<=1
    Yp=5
    break
end

C=round(cat(1, parametre.Centroid)); % převod do matice C
for k=1:N
    IG2(C(k,2),C(k,1),1)=0;
    IG2(C(k,2),C(k,1),2)=255;
    IG2(C(k,2),C(k,1),3)=0; % označení těžiště zelenou barvou
end

Spx=cat(1, parametre.Area); % plocha žmolků v pixelech

%převod plochy žmolků z pixelů na mm2
i = 1 : length(Spx);
Si(i,:)=(Spx(i).*(kal^2)*4);

SiM=mean(Si);
SiSD=std(Si);
SiMax=max(Si);
SiMin=min(Si);
SiSum=sum(Si);
SiPer=sum(Spx)/(numel(BWL)/100);

Opx=cat(1, parametre.Perimeter); % obvod žmolků v pixelech

%převod obvodů žmolků z pixelů na mm
ii = 1 : length(Opx);
Oii(ii,:)=(Opx(ii).*kal*4);

OiiM=mean(Oii);
OiiSD=std(Oii);
OiiMax=max(Oii);
OiiMin=min(Oii);

D1=N/((size(IG2,1)*kal*4)*(size(IG2,2)*kal*4)); % hustota
žmolkovitosti, počet žmolků na velikost matice

II=IMM.*double(Ipom2);
figure,imshow(II,[])
ind1=find(II>0);
g1=sum(II(:))/length(ind1);
SE1 = strel('rectangle',[10 10]); %definice strukturního elementu
IMD=imdilate(IMM,SE1); % dilatace
IMD=IMD-IMM;
III=IMD.*double(Ipom2);
figure,imshow(III,[])
ind2=find(III>0);
g2=sum(III(:))/length(ind2);

Cont=g1/g2 % vztah pro kontrast

% zobrazení kontur obvodu žmolků

SE=[0 1 0;1 1 1;0 1 0]; %definice strukturního elementu
IM2=imerode(IMM,SE); %eroze
RR=IMM-IM2;
figure,imshow(RR,[])
```



```
[r c]=find(RR==1);
for i=1:length(c)
    IG2(r(i),c(i),1)=255;
    IG2(r(i),c(i),2)=0;
    IG2(r(i),c(i),3)=0; %označení obvodu červenou barvou
end

% generování bodů a nalezení nejbližších vzdáleností
figure,imshow(IG2,[])
n=20; % počet generovaných bodů
gen=[];
ri=[];
xi=[];
for j=1:n
    x=round(unifrnd(1,size(IG2,1)));
    y=round(unifrnd(1,size(IG2,2)));
    pole=[];
    for jj=1:N
        pole=[pole; jj pdist([y x; C(jj,:)],'euclidean')];
    end
    mm=find(pole(:,2)==min(pole(:,2)));
    ri=[ri; pole(mm,2)];
    line([y C(mm,1)], [x C(mm,2)], 'color','y','Linewidth',2);
    C1=C;
    C1(mm,:)=[];
    xx=C(mm,2);
    yy=C(mm,1);
    pole1=[];
    for jjj=1:N-1
        pole1=[pole1; jjj pdist([yy xx; C1(jjj,:)],'euclidean')];
    end
    mm1=find(pole1(:,2)==min(pole1(:,2)));
    xi=[xi; pole1(mm1,2)];
    line([yy C1(mm1,1)], [xx C1(mm1,2)], 'color','g','Linewidth',2);
end

D2=(sqrt(2)*n)/(pi*sqrt(sum((ri*kali*4).^2)*sum((xi*kali*4).^2)));
% vztah pro výpočet hustoty

% vztahy pro objektivní hodnocení žmolkovitosti podle vybraných
% charakteristik pro komorový žmolkový přístroj
y1=4.88-0.07963*N;
y2=4.75-0.3969*SiSum;
y3=4.89-199.08*D1;
y4=5.00-185.76*D2;

% vztahy pro objektivní hodnocení žmolkovitosti podle vybraných
% charakteristik pro komorový žmolkový přístroj
y1=5.02-0.054115*N;
y2=4.69-1.706*SiSum;
y3=5.02-135.2878*D1;
y4=4.98-127.6209*D2;

Y=[y1;y2;y3;y4]
Yp=round(mean(Y));
if (Yp<1)
    Yp=1
    if (Yp>5)
        Yp=5
    end
end
end
```